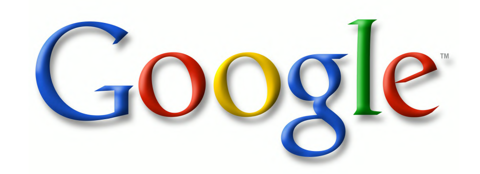
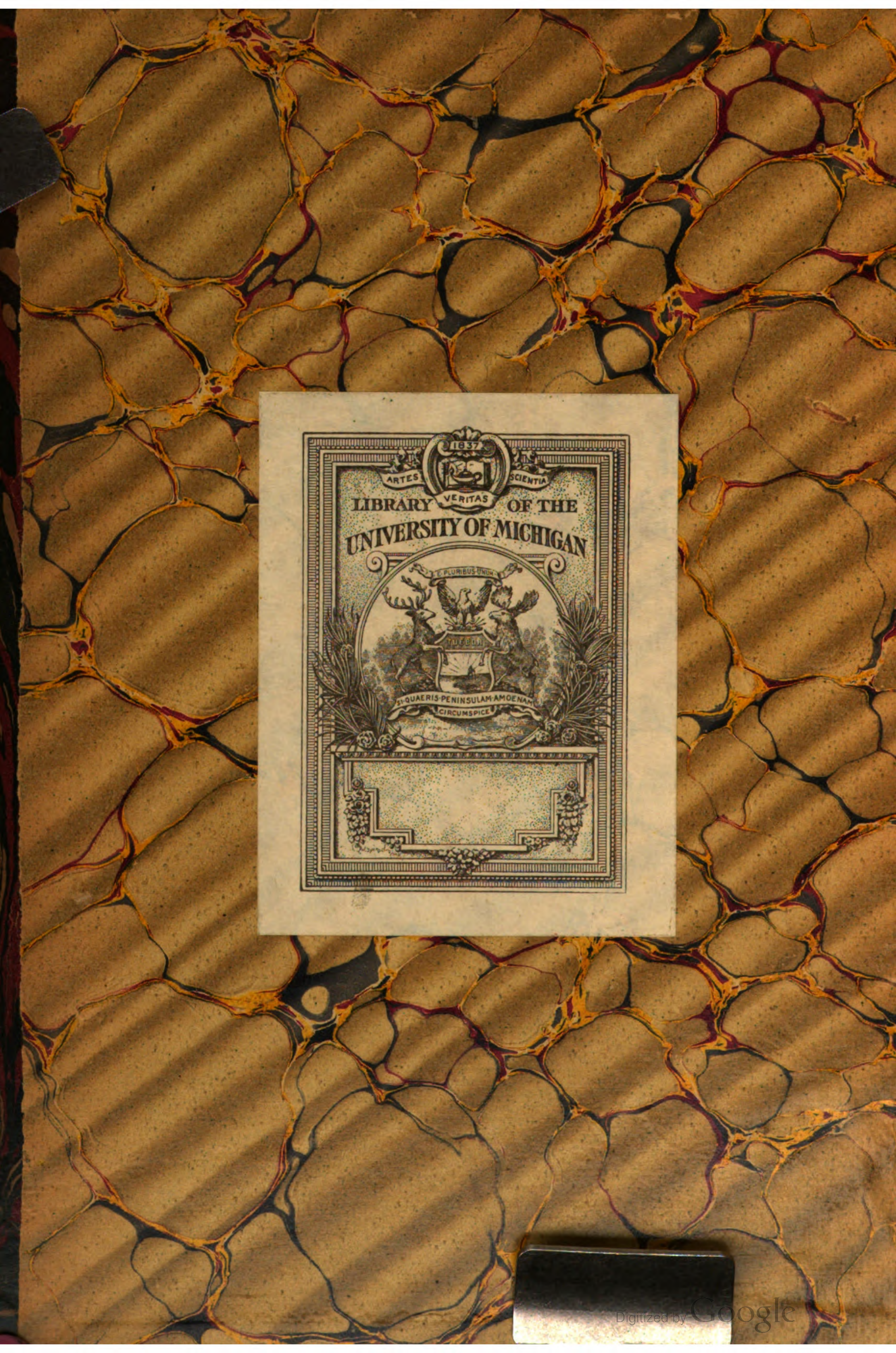
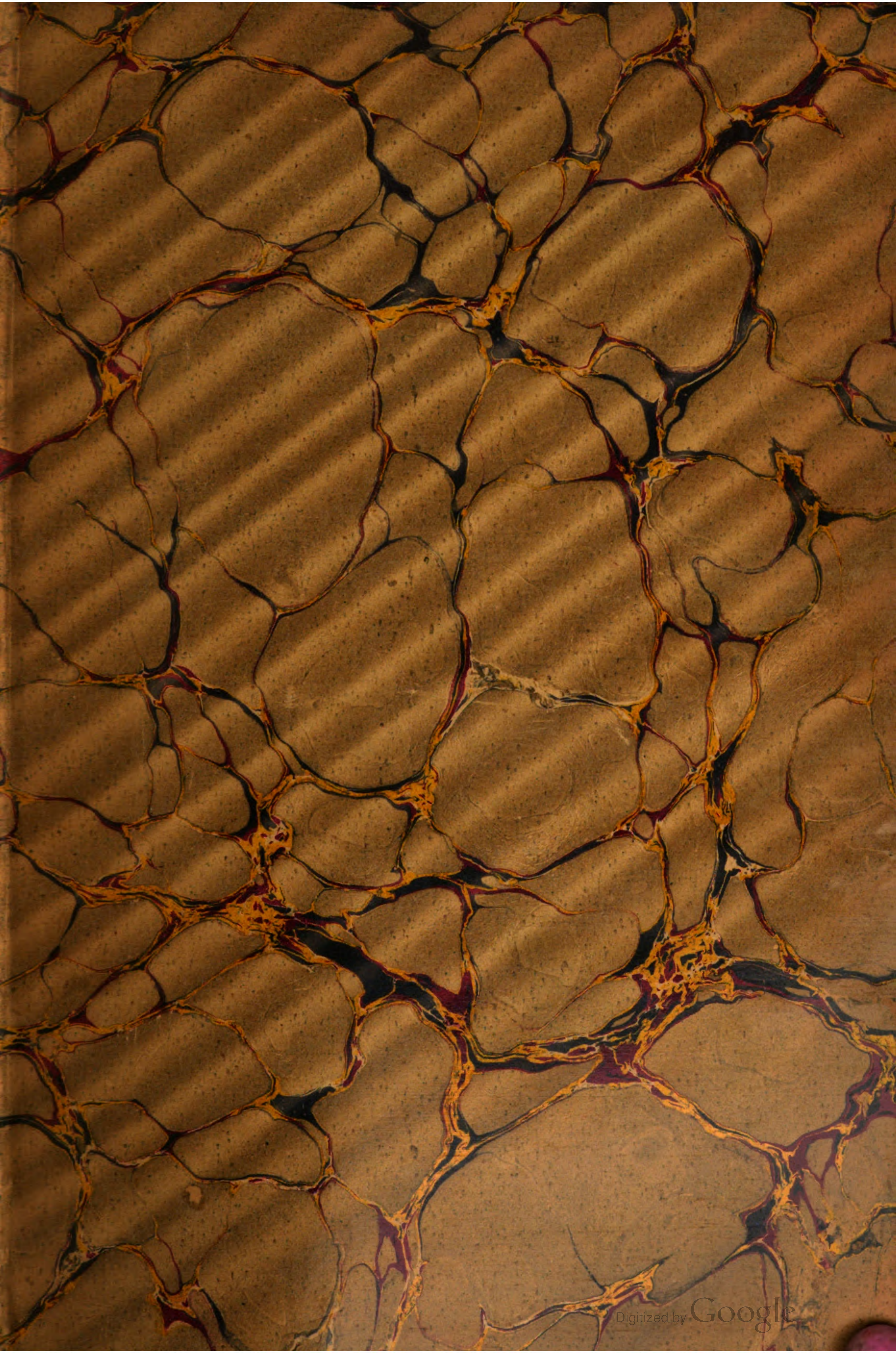




Economie forestière

Gustave Huffel


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



G. HUFFEL

INSPECTEUR DES EAUX ET FORÊTS
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS

Economie Forestière

TOME DEUXIÈME

DENDROMÉTRIE
LA FORMATION DU PRODUIT FORESTIER
ESTIMATIONS ET EXPERTISES



PARIS
LUCIEN LAVEUR, ÉDITEUR
13, RUE DES SAINTS-PÈRES (VIe)

1905

Économie Forestière

TOME DEUXIÈME

G. HUFFEL

INSPECTEUR DES EAUX ET FORÊTS
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES EAUX ET FORÊTS

Economie Forestière

TOME DEUXIÈME

DENDROMÉTRIE
LA FORMATION DU PRODUIT FORESTIER
ESTIMATIONS ET EXPERTISES



PARIS
LUCIEN LAVEUR, ÉDITEUR
13, RUE DES SAINTS-PÈRES (VI[e])

1905

PRÉFACE

DU TOME DEUXIÈME

Le IIe volume de l'ÉCONOMIE FORESTIÈRE renferme trois études, les cinquième, sixième et septième, formant la deuxième série de l'ouvrage entier.

La DENDROMÉTRIE, ou le cubage des bois, forme le sujet de la cinquième étude. Elle comprend 161 pages, avec 46 figures, et constitue un véritable traité, très complet, théorique et pratique de la matière. La partie théorique et scientifique a reçu tous les développements utiles, mais je me suis surtout efforcé de donner à la partie plus spécialement pratique l'importance qu'elle comporte. J'ai pris à tâche d'exposer, non seulement toutes les méthodes et théories intéressantes sur le cubage des bois, des plus anciennes jusqu'aux plus récentes, mais aussi un grand nombre de formules empiriques, de procédés rapides pour le cubage approximatif. J'espère avoir réussi à rendre service aux praticiens en donnant, à cette partie éminemment utile du sujet, plus d'importance que ne lui en ont accordé généralement mes prédécesseurs.

On trouvera ici, présentée pour la première fois d'une façon complète et détaillée (pages 124 à 143), la méthode de cubage des peuplements, par l'emploi de tarifs construits

graphiquement, que j'enseigne depuis seize ans à l'Ecole nationale des Eaux et Forêts. Ce sujet n'avait été qu'effleuré en 1892 dans mon précédent ouvrage, maintenant épuisé, sur « les Arbres et les peuplements forestiers ».

La PRODUCTION FORESTIÈRE, de même que toute autre production, résulte du concours de trois agents : le *travail humain*, les *forces naturelles* et le *capital*.

L'examen de ces trois facteurs de la production forme la matière des trois premières parties de la sixième étude; une quatrième partie est consacrée aux taux de formation du volume, de la valeur et au taux de placement.

Le travail humain ne joue, dans l'exploitation forestière, qu'un rôle relativement effacé. Le produit de la forêt est surtout un produit naturel, un résultat de l'activité des forces végétatives s'exerçant sur un capital ligneux accumulé par l'épargne.

Les lois du *développement naturel du volume des arbres et peuplements* sont exposées en une centaine de pages, d'après les recherches les plus récentes. Celles de *l'évolution* de la valeur forment l'objet d'un chapitre spécial d'une trentaine de pages environ. L'intelligence de cette partie de l'ouvrage est facilitée par de nombreuses figures insérées dans le texte. J'ai été heureux de pouvoir reproduire, grâce au concours dévoué de l'éditeur, en quelques belles et fidèles images (fig. 79 et suivantes), la physionomie d'un certain nombre d'arbres de formes bien caractéristiques.

Les forces naturelles, pour produire un revenu, s'appliquent en forêt à un matériel d'arbres et de peuplements qui constitue l'élément le plus spécial et le plus intéressant du

capital forestier, celui qu'on appelle la superficie. L'étude de ce *capital-superficie* est, pour la plus grande part, entièrement neuve. Seul, jusqu'à présent, Puton, dans son ouvrage si fécond en aperçus originaux, avait abordé ce sujet en esquissant la description de la constitution théorique des exploitations forestières. J'ai dû étendre beaucoup, compléter et modifier sur quelques points le travail parfois un peu concis de mon maître, dont j'ai été heureux de m'inspirer dans la mesure du possible. Des travaux récents de forestiers français, mes camarades et mes amis, qui se sont voués avec prédilection à l'étude des exploitations d'arbres, m'ont permis d'écrire un paragraphe sur la *futaie jardinée idéale* qui sera lu avec intérêt, je l'espère, par les nombreux amis des sapinières, ces forêts intéressantes entre toutes. On m'excusera de signaler aussi le paragraphe suivant sur la *futaie claire* (pages 327 à 338). J'y ai hasardé l'indication d'un mode de traitement nouveau pour le chêne, plus productif en bois d'œuvre que le taillis composé, et destiné aux régions, si étendues dans notre pays, où la futaie pleine est d'une pratique difficile, sinon même presque impossible, par suite de la rigueur du climat.

La dernière partie de la sixième étude examine les rapports de grandeur entre le capital et le revenu, les taux de production, en matière ou en argent, des exploitations forestières à revenu périodique ou annuel. La conclusion qui se dégage de cette partie de l'ouvrage, de l'examen des taux de placement dans leur variation avec la grandeur du capital est la suivante : Les exploitations intensives, à grand capital, comme celles qui sont organisées en vue de la production de bois d'œuvre de fortes dimensions, ont des taux de

placement toujours très faibles ; elles servent à peine l'intérêt à 1 ou 2 p. 100 au plus, du capital qui est engagé, lorsqu'il s'agit de futaies pleines de chênes à très long terme. Il en résulte que c'est un devoir pour l'Etat que de se charger d'une production, peu rémunératrice, et cependant indispensable à la nation.

Cette conclusion n'est pas neuve. Je n'avais fait que répéter ce que beaucoup d'autres avaient dit avant moi et avec une bien autre autorité, lorsque je la formulais, en 1892, dans la dernière page de mon livre sur les arbres et les peuplements forestiers. Elle m'a valu cependant, et par-dessus ma tête à l'enseignement officiel, les critiques d'un homme qui croyait avoir trouvé le moyen de produire de gros bois avec des taux de placement élevés (1). C'est le même qui voulait faire produire aux forêts domaniales trois ou même six fois plus qu'elles ne produisent en réduisant à moitié leur capital (2). J'ai relu depuis, avec toute l'attention dont je suis capable, les brochures et manuels de M. Gurnaud. Je les ai étudiés sans parti pris, *sine ira et studio,* on peut m'en croire. Je n'y ai pas découvert de motif pour changer mon opinion, et ma conclusion de 1905 reproduit, mot pour mot, celle de 1892.

L'étude de L'INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES tient une grande

(1) *La Double du Périgord, la réforme forestière,* par A. Gurnaud. Besançon, chez Jacquin, 1895, pages 18, 33, 44, etc. Le procédé de Gurnaud revient, en somme, à produire en même temps que des gros bois une proportion de bois moyens ou petits assez forte pour que le taux de placement de l'ensemble soit au moins égal à un minimum fixé d'avance. La note placée au bas de la page 443 me paraît répondre suffisamment, dans cet ouvrage d'où j'ai voulu écarter toute polémique, à l'erreur de ce raisonnement.

(2) « Le résultat de la réalisation (de la moitié du matériel existant dans les forêts de l'Etat français) serait de faire rendre aux forêts domaniales six fois plus que maintenant. Pour ne rien exagérer, il faut admettre que le produit annuel, après la réalisation, sera seulement triplé. De trente-cinq millions, valeur actuelle, il s'élèvera donc à cent cinq millions. » (*Les Bois de l'Etat et la dette publique,* par A. Gurnaud. Besançon, 1866.)

place dans toute cette partie de l'ouvrage. Les éclaircies sont envisagées eu égard à l'accroissement des arbres et des peuplements, à la production en matière et en argent, au taux de formation du volume, de la valeur, et enfin dans leur action sur le taux de placement. M'appuyant sur les documents les plus dignes de confiance, je me suis attaché à faire ressortir l'utilité de ces opérations aux divers points de vue énumérés ci-dessus, particulièrement en ce qui concerne le taux de formation de la valeur et le taux de placement. C'est le rôle de l'économiste que de mettre en lumière les bénéfices que procurent des opérations convenablement dirigées. Mais il est nécessaire aussi de signaler, à côté de leurs avantages, les dangers que peuvent présenter les éclaircies à beaucoup d'égards. Je veux insister sur ce sujet surtout à cause de l'engouement qui se manifeste de divers côtés en faveur des éclaircies qu'on tend à faire de plus en plus exagérées ou inopportunes. Lequel de nous n'est resté rêveur en présence des taux d'accroissement signalés par certains partisans des coupes répétées à outrance, tous les cinq ou six ans, surtout dans les peuplements de forme jardinée... jusqu'à épuisement complet des réserves accumulées par la modération des exploitations anciennes, épuisement que suivra la décadence rapide, et bientôt la ruine complète des forces productives? A l'étranger on a longtemps ignoré les éclaircies. Nos voisins de l'Est bornent en général, aujourd'hui encore, leur revenu intermédiaire à la récolte du bois mort ou complètement dominé. Et cependant, sur la rive droite du Rhin aussi, nous voyons depuis quelques années surgir des théories audacieuses, d'une audace de néophyte. Jusqu'à présent ce ne sont que des théories, ma-

tières à dissertations ; si jamais on passait à la pratique sur les terrains sablonneux infertiles, sous le climat rude du nord-est de l'Empire, on irait, je le crains, au devant de fortes désillusions.

La vérité est que l'excès en tout est un défaut, comme le répète depuis bien des siècles la sagesse des nations. Elle est aussi que, en matière de forêts, l'excès de prudence est cent fois moins pernicieux que l'excès d'audace. A chaque station, suivant le sol et le climat, à chaque essence, suivant ses allures, convient un degré de densité optimum pour les peuplements équiennes, une quantité de matériel optima pour ceux de forme jardinée. Cet état résulte d'une balance exacte des avantages et des inconvénients du dégagement des arbres producteurs dans chaque cas particulier. Sur un sol frais, profond et fertile, dans des peuplements pleins de santé et de vigueur, des opérations deviennent avantageuses qui seraient fatales à des peuplements de végétation lente, sur des sols pauvres, secs, rocheux, ou sous des climats rudes. Quels sont donc les dangers de la coupe intermédiaire inconsidérée? Je vais les énumérer rapidement.

Des éclaircies exagérées sont fatales à l'hygiène, et, finalement, à l'existence même des forêts. En interrompant le massif, en découvrant le sol, elles diminuent ou détruisent sa productivité. L'humus disparaît; le sol se dessèche, se tasse, se durcit. La forêt est envahie par les morts-bois, les bruyères, les herbes; les essences précieuses en sont éliminées progressivement. Faites trop brusquement, les éclaircies provoquent des chutes de chablis. Elles sont nuisibles économiquement, en exagérant le volume des branches, peut-être de l'aubier dans la production des forêts,

en donnant des fûts courts, coniques, qui laissent plus de déchet au moment du débit que les tiges cylindriques des massifs serrés. Elles le sont aussi en diminuant la qualité des bois : les chênes deviennent durs, nerveux, peu propres à la menuiserie fine ; les sapins et épicéas éclaircis avec excès livrent à la consommation des bois noueux et mous, sans résistance, sans qualité. Déjà des plaintes commencent à s'élever à ce sujet de la part de commerçants intelligents et très bien informés (1).

L'ESTIMATION DES FORÊTS EN FONDS ET SUPERFICIE constitue la partie la plus délicate, la plus difficile des sciences forestières. J'ai abordé ce sujet redoutable avec une entière bonne foi, sans chercher à esquiver les difficultés nécessaires, et avec le vif désir d'être intelligible, ou même clair autant que le sujet le permet.

C'est ainsi que je n'ai pas cru pouvoir suivre Puton, mon maître respecté, lorsqu'il dénie toute valeur aux jeunes bois sous prétexte qu'on ne peut les récolter avec profit pour les livrer à la consommation (2), ou lorsqu'il prétend n'estimer les fonds de forêts qu'en se basant sur le prix des terres agricoles voisines. Nul plus que moi n'apprécie la simplicité et la clarté, nul n'est davantage l'ennemi des complications

(1) Voir une motion de MM. Bouvet et Vandel, au Congrès de 1904 de la Société forestière de Franche-Comté et Belfort (Bulletin de la dite Société, volume de 1904, page 613).

(2) *Estimations concernant la propriété forestière*, pages 6, 7 et suivantes (Paris, Marchal et Billard, éditeurs, 1886). Il est vrai que, dans la suite de l'ouvrage, Puton se voit inévitablement amené, à propos d'expertises, à calculer une valeur d'avenir pour des bois en croissance. Dans les dernières années de sa vie, Puton avait du reste reconnu, partiellement, l'exagération de son opinion et son dernier ouvrage témoigne d'un progrès sensible à cet égard. (Voir son *Traité d'Economie forestière*, tome I, pages 264 et 293-294.)

et des subtilités inutiles. Mais la simplicité n'est pas le seul mérite d'un ouvrage scientifique.

Le lecteur jugera dans quelle mesure mes efforts pour présenter l'estimation des forêts d'une façon à la fois correcte, complète et intelligible ont été couronnés de succès. Je prie seulement qu'on me tienne compte de la bonne foi avec laquelle j'ai attaqué les difficultés si souvent esquivées par d'autres.

Ce second volume se termine par quelques pages sur l'usufruit des forêts. J'y exprime le vœu qu'une loi autorise le propriétaire forestier à racheter l'usufruit qui grève son bien, même malgré la résistance de l'usufruitier, car j'ai acquis la conviction que l'usufruit sur les terrains boisés devient souvent une véritable calamité. La cause en est dans la difficulté qu'on rencontre presque toujours, dans l'impossibilité à laquelle on se heurte quelquefois lorsqu'il s'agit, en matière de forêts, de distinguer le revenu du capital et de tracer la limite séparative entre l'usage légitime et l'abus.

Je tiens à remercier, en terminant, mes chefs, mes camarades et collègues, les forestiers français et étrangers, de l'accueil si bienveillant qu'ils ont fait au premier volume de cet ouvrage, dont le succès a dépassé de beaucoup ce que j'étais fondé à attendre. Beaucoup m'ont adressé leurs sympathies et leur encouragement ; un trop petit nombre m'ont signalé des lacunes et des améliorations désirables, je leur en suis particulièrement reconnaissant. Je souhaite que ce second volume, d'une lecture bien plus ardue que le premier, ne rebute pas trop le lecteur, et qu'on consente à

tolérer l'aridité du sujet en considération de son importance.

Le troisième et dernier volume de l'ÉCONOMIE FORESTIÈRE paraîtra, si les forces ne me trahissent pas avant la fin de ma tâche, dans le courant de l'année 1906. Il traitera de l'*Aménagement*. Après une partie introductive, on y trouvera exposées toutes les méthodes d'aménagement par contenance, par pieds d'arbres ou par volume qui présentent de l'intérêt. Je donnerai l'histoire, autant que j'ai pu la connaître, de celles que nous suivons en France. Cet exposé des méthodes formera une entreprise entièrement nouvelle, aussi bien à l'étranger que chez nous ; j'espère qu'il paraîtra intéressant aux forestiers. Enfin la dernière partie sera consacrée à l'exécution des aménagements, à l'application, dans des forêts réelles, des méthodes étudiées précédemment.

G. HUFFEL.

Nancy, 4 février 1905.

CINQUIÈME ÉTUDE

DENDROMÉTRIE

AVANT-PROPOS

NOTES SUR L'HISTOIRE DE LA DENDROMÉTRIE

La pratique du cubage (solivage, toisé, moulage, cordage) des bois abattus et débités est évidemment aussi ancienne que le trafic des bois lui-même et a pris naissance dès l'origine des civilisations. Aussi loin que nous puissions remonter dans le passé nous voyons les bois de chauffage débités en pièces de longueurs uniformes, empilés de façon à remplir des *moules* ou réunis en faisceaux qu'entoure une *corde*. Déjà au XIIIe siècle les *cordes* de bois de chauffage avaient, comme aujourd'hui, un volume voisin de 3 stères (1).

Le cubage des arbres sur pied, ou même abattus en grume, n'a pris naissance qu'à une époque tout à fait récente. A la fin du moyen-âge encore, la généralité des droits d'usage excluait, semble-t-il, toute importance du commerce des bois debout. Lorsqu'on en vendait c'était « à l'estime », c'est-à-dire sans s'être rendu compte de leur volume réel, par un procédé scientifique. Ce n'est que lorsque les arbres étaient abattus, et façonnés, ou du moins équarris, qu'on les cubait et les vendait à l'unité de mesure. Aussi lorsqu'on essaya d'abord de se rendre compte de la valeur de l'arbre sur pied ce ne fut pas son volume géométrique, mais bien la quantité de telle ou telle marchandise qu'on pouvait en tirer qu'on s'efforça de déterminer. Un sapin représentait 120 ou 150 planches, ou bien c'était un chevron, une panne. Un chêne était évalué d'après l'équarrissage et la longueur

(1) La corde de Strasbourg valait 3 st. 23 au commencement du XIIIe siècle. (Hanauer, *Etudes économiques sur l'Alsace*, Paris, chez Pédone-Lauriel, 1878.)

de la poutre que le charpentier en obtiendrait. Le calcul du côté de l'équarrissage en fonction de la circonférence de la grume était un des problèmes essentiels de la technologie forestière d'autrefois.

Nous voyons nos prédécesseurs, dès le XVII[e] siècle, et sans doute déjà antérieurement, employer pour calculer le côté de l'équarrissage ou l'*épaisseur* de la poutre que donnera une grume, la marche suivante :

De la circonférence médiane retranchez $\frac{1}{n}$ de sa longueur ; ce qui reste divisez-le par quatre, et ce sera l'épaisseur de la pièce équarrie. La grandeur de n variera suivant que l'on voudra équarrir avec flaches plus ou moins importantes au fin bout, ou à vives arêtes avec aubier ou enfin à vives arêtes sans aubier. La fraction $\frac{1}{n}$ était parfois de un *dixième* (1) ou un *neuvième* (2). Tellès d'Acosta (3), qui visait surtout les bois de marine, recommande « de prendre la circonférence au milieu de l'arbre dont on ôte le *sixième;* ce qui reste on le divise par quatre.... les marchands de bois sont dans l'usage de soustraire un *cinquième*... ». Ces procédés de calcul se trouvent reproduits dans tous les traités ou manuels anciens (4); on a pris l'habitude de les appeler *calculs au* $n^{ième}$ *déduit.*

Un calcul très simple nous montre que le côté du carré inscrit dans une circonférence de cercle de longueur C est égal à $\frac{C}{\pi\sqrt{2}} = \frac{C}{4.443}$; c'est presque exactement, comme l'avaient remarqué nos prédécesseurs, le quart de la circonférence préala-

(1) Duhamel, *Traité de l'exploitation des bois*, t. II, page 607.

(2) *Ibid.*, page 628.

(3) La bibliothèque de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts possède un très bel exemplaire manuscrit de l'ouvrage de Tellès qui a, du reste, été imprimé sous le titre de *Instruction sur les bois de marine.* La première édition de cet ouvrage porte la date de 1780; une seconde en a paru en 1782.

(4) *Manuel forestier* par Guiot, garde-marteau à la maîtrise de Rambouillet, 1770. *Traité de cubage des bois*, par Herbin de Halle, 1812. *Théorie des règles en usage pour le cubage des bois,* par Robin, 1821, etc., etc.

blement diminuée d'un dixième. (En effet $\frac{0,9\,C}{4} = \frac{C}{4.444}$)... Calculer l'épaisseur ou le côté d'équarrissage au *dixième déduit* revient donc à supposer, puisque C est la circonférence médiane de la grume, que la pièce ne sera équarrie à vive arête que sur la moitié de sa longueur : le surplus présentera des flaches qui iront en augmentant jusqu'au fin bout. Si l'on calcule le côté de l'équarrissage au *sixième déduit*, on obtient une grandeur égale à $\frac{C}{4,8}$; c'est exactement le côté du carré inscrit dans la section au petit bout si la circonférence C′ de cette dernière section est égale au moins à 0,927 C. Le calcul au sixième déduit suppose donc une pièce équarrie à vive arête jusqu'au fin bout si la circonférence à cette extrémité est au moins égale à 92 0/0 de la circonférence médiane. Ce cas est réalisé pour les pièces qui ne sont pas très longues, comme l'étaient autrefois les grosses charpentes de chêne ou comme le sont les grumes de hêtre. Sinon l'on obtient, en équarrissant au sixième déduit, de petites flaches au fin bout à moins que l'on ne donne à la pièce la forme d'un tronc de pyramide à base carrée, en diminuant progressivement le côté de l'équarrissage vers le haut, artifice auquel les anciens charpentiers recouraient souvent. Les pièces sont équarries à vives arêtes, mais celles-ci se trouvent, dans la partie supérieure, prises dans l'aubier. Si l'on calcule le côté de l'équarrissage au *cinquième déduit* on obtient une grandeur égale à $\frac{C}{5}$ et l'équarrissage sera à vive arête si la circonférence fin bout est égale à 0,888 de la circonférence médiane. Non seulement ce cas est presque toujours réalisé pour les grumes de feuillus telles qu'on les découpait autrefois pour la charpente, mais encore on obtient, en équarrissant au cinquième déduit, lorsque l'aubier n'est pas trop épais, des pièces équarries à vive arête sans aubier sur toute la longueur.

Citons, à l'appui de ce qui précède, quelques exemples des habitudes de nos prédécesseurs en matière d'estimation et de vente d'arbres.

En 1691, les moines de l'abbaye de Cîteaux (1) vendirent au roi « tous les arbres chêne qui se trouveraient propres (à la marine) dans leurs bois et forêts » moyennant un prix fixé par pied d'arbre à 3 livres 12 sols, soit un peu plus de six francs de notre monnaie. En 1720, ce prix fut porté à 5 livres par arbre (environ 13 fr. 20, valeur actuelle). En 1747, nous voyons apparaître la vente après cubage : les officiers royaux doivent payer 10 sols par pied cube de bois équarri. Ce prix correspond à 0 fr. 50 environ pour la valeur du pied cube en grume; de pareils bois auraient aujourd'hui une valeur sept fois supérieure au moins. En 1731, « le maître des bois » (religieux chargé de la gestion des forêts) de cette abbaye rédigea un mémoire pour servir à l'instruction de ses successeurs. Nous y voyons qu'il estime les chênes, d'après l'équarrissage qu'ils pourront donner, à tant par pied de longueur de la pièce équarrie. Le prix du pied courant augmente avec le côté de l'équarrissage et la longueur de la pièce. C'est ainsi qu'un arbre qui donnerait une pièce de quatorze à quinze pouces d'équarrissage vaut (debout, en forêt), environ 22 sols par pied de longueur, s'il a une hauteur en bois d'œuvre de 20 à 22 pieds, ce qui est la dimension courante (2). Cependant, au XVIIIe siècle encore, on vendait le plus souvent les arbres à l'estime, « l'un portant l'autre », à un prix unique fixé à forfait. En 1726 un bourgeois de Haguenau avait choisi dans la forêt deux beaux chênes qu'on lui délivra moyennant un versement de trente livres (3). En 1743, trois cents pins sylvestres, de six à sept pieds de tour, furent délivrés par la maîtrise de Haguenau à M. de Noailles, pour construire des radeaux sur le Rhin, au prix de trois livres la pièce. Lorsque les bois

(1) *Les forêts de l'abbaye de Cîteaux*, par E. Picard. 1886-1887. (Extrait des tomes XI et XII des *Mémoires de la Société Eduenne*.)

(2) Un chêne pouvant donner une pièce équarrie à vive arête de 15 pouces de côté et de 22 pieds de long aurait au moins 0 mètre 90 de diamètre à hauteur d'homme et 14 mètres de sa tige utilisable en bois d'œuvre suivant nos usages actuels. Son volume serait d'à peu près sept mètres cubes et il vaudrait, sur pied, environ 500 fr. au lieu de 24 livres (environ 60 fr. de notre monnaie en 1731).

(3) Archives municipales de Haguenau. D. D., 47.

étaient plus précieux et qu'on voulait serrer la valeur de plus près on les estimait *d'après leur circonférence*. Nous voyons, par exemple, en 1743 et 1744, la même maîtrise délivrer à l'entrepreneur des fortifications de Fort-Louis sur le Rhin des chênes mesurant de 12 à 16 pieds de tour « mesure prise à demy-pied de terre » à un prix fixé à 24 sols par pied de tour. Un chêne de dix pieds était vendu douze livres (1), un autre de quinze pieds dix-huit livres (2). 1023 pins sylvestres, mesurant ensemble 5.122 pieds de tour, sont vendus à huit sols le pied de tour. A la même époque la maîtrise vendait à l'autorité militaire des chênes et des pins « propres au chauffage » à raison de dix sols par pied de tour.

L'habitude d'estimer les arbres à tant par unité de longueur de leur circonférence est du reste très ancienne. Nous en trouvons la preuve dans les textes de loi qui punissent le vol d'arbres sur pied en calculant l'amende à raison d'un taux fixé par pied de tour. Ce système, encore en vigueur dans notre Code actuel, était déjà usité dans l'ordonnance de 1669 (3), qui, elle-même, l'avait emprunté aux ordonnances du XVIe siècle (4) ou, sans doute, à des textes plus anciens encore.

Ce n'est que vers la fin du XVIIIe siècle que l'on commença à considérer les grumes elles-mêmes quant à leur volume (5). Dans un traité publié en 1791 par M. de Septfontaines (6), il est dit que « pour cuber une grume on mesure les circonférences extrêmes et on fait la demi-somme des sections extrêmes (7)

(1) Environ 29 fr. de notre monnaie.

(2) Environ 44 fr. de notre monnaie. Un pareil chêne devait cuber environ douze mètres cubes de bois d'œuvre et vaudrait aujourd'hui, à Haguenau, vingt fois plus qu'en 1744.

(3) Titre XXXII, art. 1.

(4) Ordonnance de 1518, art. 25.

(5) « Pour cuber les bois ronds on les considère comme des cylindres qui ont pour base la superficie de leur cercle du milieu. » (*Traité de la mesure des bois*, par Segondat. Toulon, 1782.)

(6) *L'Art de toiser les bois*, etc. Paris, chez Panckouke, 1791.

(7) Il est assez curieux d'observer que les anciens traités de cubage déduisent toujours la dimension médiane de la mesure des dimensions extrêmes au lieu de la mesurer directement. Herbin de Halle, en 1812, et Baudrillart lui-même, en 1825, opéraient encore de même. Ici l'auteur admet que la section médiane est une moyenne arithmétique des sections extrêmes, ce qui est une propriété caractéristique du tronc de paraboloïde.

qu'on multiplie par la longueur. » Ce procédé est parfait lorsque la grume a la forme d'un paraboloïde du second degré, ce qui est approximativement réalisé dans beaucoup de cas. Il est vrai que le même auteur, à quelques pages d'intervalle, recommande de cuber les grumes par le procédé suivant : « Multipliez la somme des circonférences extrêmes par la plus petite des deux ; ajoutez au produit le carré de la plus grande et multipliez la somme par 0,02653 de la longueur de la pièce. » Il est facile de reconnaître que cette formule peu pratique est basée sur l'hypothèse que la grume a la forme d'un tronc de cône de révolution. En effet, si h est la hauteur, C la circonférence de la grande base, et c celle de la petite base d'un tronc de cône on a, d'après une formule connue.

$$V = \frac{1}{3} h \frac{1}{4\pi}(C^2 + c^2 + Cc)$$

$$= \frac{h}{12\pi}\left[C^2 + c(C + c)\right] = 0{,}02653h\left[C^2 + c(C + c)\right]$$

A partir du commencement du XIXe siècle, les traités de cubage et les tarifs se multiplient ; on cube généralement les grumes en faisant le produit de la section médiane par la hauteur. C'est vers la même époque qu'on voit apparaître les premières tentatives de cuber les arbres sur pied en recherchant un rapport entre leur section ou leur diamètre médians et ces mêmes grandeurs mesurées à hauteur d'homme (1).

Nos ancêtres, comme on peut le voir par ces quelques renseignements, mesuraient toujours la circonférence, et jamais le diamètre des arbres. Duhamel, qui, dans son *Traité de l'exploitation des bois* (1764), décrit minutieusement l'outillage du forestier et du bûcheron (2) ne fait aucune allusion à un instrument propre au mesurage des diamètres. Varenne de Fenille se servait, en 1790, d'un « compas courbe gradué » pour

(1) Un des meilleurs tarifs de cubage anciens que nous connaissions est celui de Desclos dont la première édition date du milieu du XVIIIe siècle et qui avait atteint sa cinquième édition en 1812. Ce barême, qui est cité par Tellès d'Acosta, est un tarif de cubage au sixième (voir page 37) pour les bois abattus.

(2) Tome Ier, page 262.

mesurer les diamètres; il donne dans son premier mémoire une figure de cet instrument (1) qui se vendait chez Meurand, constructeur, quai de l'Horloge, 67, à Paris. Baudrillart (1825) fait une courte mention d'un instrument gradué, semblable à celui dont les cordonniers font usage, dont on peut se servir pour connaître le diamètre des arbres.

L'usage des compas forestiers ne s'est répandu dans notre pays, semble-t-il, que vers 1820 à 1830 ; les commissions d'aménagement, qui l'adoptèrent dès le début de leur institution, contribuèrent beaucoup à en vulgariser l'emploi. On les appelait encore, il y a cinquante ou soixante ans, des *becs de cigogne* (2) en même temps que *compas* ou *bastringues* (3). Cependant la mesure de la circonférence est restée dans les usages du commerce des bois et beaucoup de forestiers la pratiquent encore, notamment dans le Jura, où les sapins sont toujours cubés d'après leur circonférence. Nous verrons du reste (4) que l'emploi de la circonférence peut être préférable, dans certains cas, à celui du diamètre.

Quant aux dendromètres on ne risque guère de se tromper en attribuant une haute antiquité à la « croix du boquillon (5) ». La diffusion de ce petit instrument, le seul connu des bûcherons, dans des régions très éloignées les unes des autres en est un sûr garant. Duhamel a décrit (6) un dendromètre à perpendicule en 1764; c'est un instrument très peu pratique dont on trouve la figure dans une des belles planches qui ornent son ouvrage. Les descriptions de dendromètres commencent à se multiplier vers 1820 dans les périodiques forestiers et l'on sait assez combien, de nos jours encore, ce genre d'instruments occupe volontiers l'esprit d'invention des estimateurs de forêts.

(1) Nous le reproduisons plus loin (fig. 16, page 50).
(2) *Annales forestières*, tome II (1843), page 276; tome IV (1845), page 167, etc.
(3) Ce mot bizarre de *bastringue* s'est introduit dans la langue française il y a un siècle environ : on en ignore l'origine et le sens primitif. On le trouve dans le dictionnaire de l'Académie à partir de 1835.
(4) Page 57.
(5) Voir page 84.
(6) Voir page 87.

CHAPITRE PREMIER

CUBAGE DES BOIS ABATTUS

SOMMAIRE

ARTICLE PREMIER. — **CUBAGE DES GRUMES**

§ 1er. — *Les formules de cubage.*

Types dendrométriques. Formule générale de cubage des paraboloïdes de révolution. Formule de cubage de Newton. Cylindre, paraboloïde d'Appolonius, tronc de cône. Conditions d'exactitude des procédés de cubage des grumes. Formule de Simpson. Procédé pratique : emploi de la section médiane. Précautions à prendre lors du cubage par la section médiane. Cubage par deux ou trois sections : méthode des trois cylindres de M. Frochot. Méthodes de M. Simony, de M. Schiffel. Tarifs pour le cubage par la méthode de M. Schiffel. Barêmes pour le cubage des grumes. Procédés de calcul approximatifs sans barême.

§ 2. — *Les cubages réduits du commerce.*

I. — Origine des cubages réduits. Leur ancienneté.
II. — **Cubage au quart sans déduction.**
III. — **Cubage au sixième déduit.**
IV. — **Cubage au cinquième déduit.** — Emploi de ce procédé pour arriver au volume en grume.
V. — Règle à cubage de M. de Montrichard.

§ 3. — *Instruments de mesurage.*

Mesure des longueurs.
Mesure des diamètres. — Les compas forestiers. Conditions d'exactitude des compas. Modèles divers de compas. Compas de Varenne de Fenille.
Mesure des circonférences.

§ 4. — *Les erreurs de mesurage.*

Erreurs sur la mesure des longueurs.
Mesure des sections transversales. — Emploi de la circonférence ou emploi du diamètre. La ficelle des marchands de bois. La mesure de la circonférence est préférable, pour le cubage des grumes, à celle du diamètre au moyen des compas ordinaires. Graduation des compas pour le cubage des grumes.

ARTICLE 2. — **CUBAGE DES BOIS EMPILÉS, DES FAGOTS ET DES ÉCORCES**

§ 1er. — *Les bois de feu et petits bois d'œuvre.*

Modes de débit des bois de feu. Bois de corde : quartier, rondin, charbonnette. Fagots et bourrées.
Cubage au moyen de xylomètres.
Cubage par pesée. Tableau de la densité des bois verts.
Empilage des bois de corde. Volume réel du stère. Coefficient d'empilage.
Volume des fagots.

§ 2. — *Volume des écorces.*

Tableau du volume des écorces de chêne et de sapin.

La **Dendrométrie**, ou **Stéréométrie forestière**, nous enseigne à déterminer le volume des produits de la forêt.

Les procédés employés pour le cubage des bois varient suivant qu'on opère sur des bois abattus ou bien sur des bois encore sur pied. D'où une division naturelle de cette étude en deux chapitres, l'un relatif au cubage des bois abattus, l'autre relatif au cubage des bois sur pied.

ARTICLE PREMIER. — CUBAGE DES GRUMES

§ 1er. — *Les formules de cubage.*

Le mot *grume* (1) désigne, à proprement parler, l'écorce qui recouvre une tige d'arbre. L'usage s'est répandu de l'employer également pour désigner une pièce de bois ronde et encore recouverte de son écorce ; c'est ainsi que nous dirons indifféremment une grume ou une pièce de bois en grume.

Lorsqu'un arbre abattu a été dépouillé de ses branches et que la tige a été sectionnée à une distance du bourgeon terminal variable suivant les usages locaux, il reste une pièce, généralement destinée à être utilisée comme bois d'œuvre, que l'on appelle une grume.

(1) Formé par dissimilation pour *glume*, du latin *gluma*, de même qu'on dit *r*orme pour *o*l*me*, b*r*ocaille pour b*l*ocaille, *r*ossignol pour *l*ossignol, etc.

La forme d'une grume est toujours plus ou moins irrégulière, surtout chez les bois feuillus, et ne peut être identifiée avec aucun solide géométrique (1). Il est cependant nécessaire, lorsqu'on veut procéder à la détermination de son volume, de l'assimiler, avec plus ou moins d'approximation, à un pareil solide qui prend alors le nom de **type dendrométrique**.

Dans la pratique on assimile toujours les grumes à des solides engendrés par la rotation d'une ligne plane tournant autour d'un axe situé dans son plan. Comme il est impossible, dans l'état actuel de la science, de définir géométriquement la forme réelle de la courbe génératrice en question on est convenu de lui attribuer la forme la plus simple pour les calculs, celle d'une parabole dont l'équation est, si on la rapporte à son axe et à une perpendiculaire passant par le sommet :

$$y^2 = px^n$$

n étant un nombre entier et positif qui définit l'espèce de la parabole et p un paramètre de forme dans chaque espèce.

Considérons le solide engendré par la rotation d'une pareille courbe autour de son axe. Le volume compris entre le sommet et un plan perpendiculaire à l'axe mené à la distance x du sommet, lequel détermine comme section un cercle de rayon y et de surface S, est donné par la *formule générale de cubage des paraboloïdes de révolution*

$$V = \pi \frac{1}{n+1} y^2 x \quad \text{ou } V = \frac{S}{n+1} x$$

En effet l'équation générale du volume de la portion d'un solide de révolution comprise entre deux plans perpendiculaires à l'axe menés l'un par l'origine et l'autre à une distance h est évidemment

$$V = \pi \int_0^h y^2 \, dx$$

et si $y^2 = px^n$

(1) Voir à ce sujet le 26e fascicule des *Mitteilungen* de la Station de recherches autrichienne par E. Simony (Vienne, Frick, éditeur, 1901).

$$V = \pi \int_0^h px^n \ dx = p\pi \frac{1}{n+1} x^{n+1} = \pi \frac{1}{n+1} y^2 x = \frac{S}{n+1} x$$

On peut encore établir une autre formule, beaucoup plus générale, connue sous le nom de *formule de Newton*, qui donne le volume de la portion d'un solide comprise entre deux plans parallèles en fonction de la distance h de ces plans, des surfaces S et s des sections qu'ils déterminent dans le solide et enfin de la surface σ qu'y détermine un plan mené parallèlement aux deux premiers, entre eux, et équidistant de chacun d'eux. La formule de Newton est

$$V = \frac{h}{6} (S + s + 4\sigma)$$

elle s'applique à tous les corps tels que la surface de la section faite par un plan parallèle et à la distance x d'un plan origine puisse être mise sous la forme

$$S = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$$

A, B, C, D pouvant être positifs, négatifs ou nuls.

Voici une démonstration de cette formule (1).

Considérons un solide terminé par deux plans parallèles dont la distance est H, et soit un plan-origine parallèle le coupant à mi-distance des deux bases. Si la surface de la section faite par un plan parallèle au plan origine à la distance x de celui-ci peut s'écrire

$$S = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$$

ce qui est notre hypothèse, on a évidemment, en appelant V le volume du solide

$$V = \int_{-\frac{H}{2}}^{+\frac{H}{2}} (A + Bx + Cx^2 + Dx^3) \ dx$$

L'intégrale indéfinie est $V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3} + \frac{Dx^4}{4}$

(1) Cette démonstration, plus simple que celle qu'on donne habituellement, nous a été communiquée par M. Petitcollot, professeur de mathématiques et Sous-Directeur à l'Ecole nationale des Eaux et Forêts.

et l'intégrale définie sera

$$V = \frac{AH}{2} + \frac{BH^2}{8} + \frac{CH^3}{24} + \frac{DH^4}{64} + \frac{AH}{2} - \frac{BH^2}{8} + \frac{CH^3}{24} - \frac{DH^4}{64}$$

ou bien $V = AH + \frac{CH^3}{12} = H\left(A + \frac{CH^2}{12}\right)$ équation n° 1.

Calculons maintenant A et C en fonction de S, s, surfaces des deux bases, et de σ, surface de la section déterminée par le plan origine

on a pour $x = -\frac{H}{2}$ $\quad s = A - \frac{BH}{2} + \frac{CH^2}{4} - \frac{DH^3}{8}$

pour $x = 0$ $\quad \sigma = A$

pour $x = +\frac{H}{2}$ $\quad S = A + \frac{BH}{2} + \frac{CH^2}{4} + \frac{DH^3}{8}$

donc $S + 4\sigma + s = 6A + \frac{CH^2}{2} = 6\left(A + \frac{CH}{12}\right)$ équation n° 2.

Remplaçons dans l'équation n° 1 $A + \frac{CH^2}{12}$ par sa valeur tirée de l'équation n° 2, il vient :

$$V = \frac{H}{6}(S + s + 4\sigma) \qquad \text{C.Q.F.D.}$$

La formule de Newton, très intéressante à cause de sa généralité, s'applique à presque tous les corps de la géométrie élémentaire.

Elle s'applique aux prismes droits ou obliques, aux cylindres, pyramides, cônes, troncs de pyramides, troncs de cônes (à bases parallèles), à tous les corps polyédriques dont les sommets sont sur deux plans parallèles, aux ellipsoïdes, à la sphère, aux paraboloïdes hyperboliques et autres du second degré, etc., etc., à tous les paraboloïdes de révolution de degré supérieur dont la courbe méridienne peut s'écrire sous la forme $y^2 = a + bx + cx^2 + dx^3$ et aux troncs (à bases parallèles) de ces paraboloïdes, etc.

C'est surtout pour cuber des troncs de cône et de paraboloïde qu'elle est employée en dendrométrie (1).

Après avoir ainsi établi les formules générales de cubage qui nous sont utiles revenons à l'examen des **types dendrométriques.**

Ils sont engendrés par la rotation, autour de son axe, de la parabole dont l'équation est

$$y^2 = px^n$$

En pratique on ne considère que les types obtenus en faisant

$$n = 0$$
$$n = 1$$
$$n = 2$$
$$n = 3$$

1er cas : $n = 0$.

L'équation devient $y^2 = p$; c'est celle d'un groupe de deux droites parallèles à l'axe et équidistantes de celui-ci, droites dont la rotation engendre *le cylindre de révolution.* Le volume compris entre deux plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe est, en appelant H la hauteur du solide ainsi délimité :

$V = \frac{S}{n+1} H = SH$ d'après la formule générale des paraboloïdes de révolution

et $V = \frac{H}{6} (S + 4S + S) = SH$ d'après la formule de Newton.

2e cas : $n = 1$.

L'équation devient $y^2 = px$, c'est celle de la parabole d'Appolonius dont la rotation autour de son axe engendre le *para-*

(1) On peut faire remarquer que la formule de Newton est une extension au calcul des volumes de la formule connue de Thomas Simpson donnant la surface comprise entre une courbe MN, l'axe des x et les deux ordonnées des points M et N. On a, si R est le milieu de la ligne PQ $S = \frac{PQ}{6} (y_1 + y_2 + 4y_3)$ formule très approchée toutes les fois que PQ est relativement court et que la courbure de MN reste de même sens entre M et N (fig. 1).

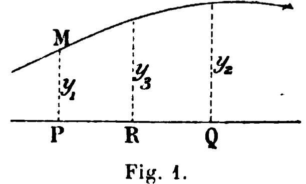


Fig. 1.



boloïde d'Appolonius. La propriété caractéristique de ce paraboloïde, qui découle immédiatement de l'équation de la courbe méridienne, est que la surface d'une section faite par un plan perpendiculaire à l'axe mené à la distance H du sommet est proportionnelle à H (1).

Il en résulte que la surface σ d'une section faite à mi-distance de deux autres dont les surfaces sont S et s est égale à leur moyenne arithmétique.

$$\sigma = \frac{S + s}{2}$$

Appliquons au paraboloïde d'Appolonius la formule générale de cubage des paraboloïdes de révolution

$$V = \frac{S}{n+1} H \qquad \text{en faisant } n = 1 \text{ il vient}$$

$V = \frac{1}{2} SH$, c'est-à-dire que le volume d'un paraboloïde est moitié de celui d'un cylindre de même base et de même hauteur.

Pour cuber le tronc de paraboloïde d'Appolonius terminé par des plans perpendiculaires à l'axe, appliquons-lui la formule de Newton

$$V = \frac{H}{6} (S + 4\sigma + s) \qquad \text{or } \sigma = \frac{S + s}{2} \quad \text{d'où}$$

$$V = \frac{H}{6} 6\sigma = H\sigma = H \frac{S + s}{2}.$$

Le tronc de paraboloïde est le seul corps géométrique (avec le cylindre qui n'en est qu'un cas particulier) qu'on puisse cuber indifféremment en multipliant la hauteur soit par la surface de

(1) En effet, si S est la surface d'une section faite à une distance x du sommet d'un paraboloïde de révolution, et telle que l'on ait

$$\frac{dS}{dx} = C$$

C étant une constante caractérisant la forme de la section longitudinale on en déduira :

$$S = Cx + a$$

et, puisque S et x sont nuls en même temps, $S = Cx$, ou encore, en appelant y le diamètre de la section, $y^2 = Kx$, ce qui est bien l'équation de la section méridienne du paraboloïde d'Appolonius.

la section faite à mi-hauteur, soit par la moyenne arithmétique des sections extrêmes (1).

(1) On peut donner une démonstration élémentaire de la formule de cubage du paraboloïde et du tronc de paraboloïde.

Soit un paraboloïde de hauteur H. Divisons H en n parties égales h et par les points de division menons des plans parallèles à la base qui déterminent des sections de rayon y_1 y_2 y_3.... y_n. (fig. 1 *bis*).

Si l'on considère les cylindres ayant pour base ces sections et pour hauteur uniforme h la somme de leurs volumes $\Sigma\pi y^2 h$ sera d'autant plus voisine du volume du paraboloïde que n sera plus grand

Fig. 1 *bis*.

$$\text{Or } y_1^2 = Kh,$$
$$y_2^2 = 2\,Kh$$
$$y_3^2 = 3\,Kh\ldots \text{ etc.}$$

d'où $$V = \Sigma\pi y^2 h = K\pi h^2 (1 + 2 + 3 + \ldots + n)$$
$$= K\,\pi\,h^2 \frac{n\,(n+1)}{2} \text{ or } h = \frac{H}{n} \text{ d'où } V = \frac{K\,\pi\,H^2}{n^2}\;\frac{n\,(n+1)}{2}$$
$$= \frac{K\,\pi\,H^2}{2}\;\frac{n\,(n+1)}{n^2}$$
$$= \frac{SH}{2}\;\frac{n\,(n+1)}{n}$$

en appelant S la section de base dont le rayon y est donné par la relation $y^2 = KH$ et la surface égale à $\pi y^2 = K\pi H = S$

Sous cette dernière forme $V = \frac{SH}{2}\;\frac{n\,(n+1)}{n^2}$

il apparait clairement que plus n est grand, c'est-à-dire plus le volume total des cylindres élémentaires se rapproche du paraboloïde, plus le volume se rapproche de $\frac{SH}{2}$ à quoi on peut admettre qu'il devient égal à la limite.

Quant au tronc de paraboloïde (fig. 2).

Soit h la distance de la petite base, de surface s, au sommet et H celle de la grande base, de surface S ; soit l la hauteur H-h du tronc de paraboloïde et V son volume

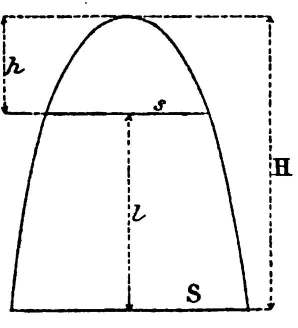


Fig. 2.

On a évidemment $$V = \frac{1}{2}\,(SH - sh)$$

Or, l'on a $\frac{S}{s} = \frac{H}{h}$ d'où $\frac{S-s}{s} = \frac{H-h}{h} = \frac{l}{h}$

et $h = \frac{ls}{S-s}$

on aurait de même $H = \frac{lS}{S-s}$

d'où $$V = \frac{1}{2}\,l\left(\frac{S^2-s^2}{S-s}\right) = \frac{1}{2}\,l\,(S+s) = \sigma\,l$$ C. Q. F. D.

3e cas: $n = 2$.

L'équation devient $y^2 = p x^2$; c'est celle d'un ensemble de deux droites passant par l'origine et également inclinées de part et d'autre sur l'axe des x. Leur rotation autour de cet axe engendre *le cône droit de révolution.*

Appliquons-lui la formule générale du cubage.

$$V = \frac{S}{n+1} H \text{ en faisant } n = 2 \text{ il vient}$$

$$V = \frac{1}{3} SH,$$ c'est-à-dire que le volume du cône est le tiers de celui d'un cylindre de même base et de même hauteur.

Pour cuber le *tronc de cône* (terminé par deux plans perpendiculaires à l'axe) appliquons-lui la formule de Newton.

$$V = \frac{H}{6} (S + 4\sigma + s)$$

ou bien encore en appelant R le rayon de la grande base de surface S et r le rayon de la petite base de surface s.

$$V = \frac{H}{6} \left\{ \pi R^2 + \pi r^2 + 4 \pi \left(\frac{R + r}{2}\right)^2 \right\}$$

$$= \frac{\pi H}{6} (2 R^2 + 2 r^2 + 2 R r)$$

$$= \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + R r)$$

$$= \frac{H}{3} (S + s + \sqrt{S s})$$

formules qu'il est facile, comme on sait, d'établir par un calcul élémentaire.

4e cas : $n = 3$.

L'équation devient $y^2 = px^3$, c'est celle de la parabole de Neil (1) ou parabole cubique dont la rotation autour de son axe engendre le *néloïde.*

(1) Guillaume Neil, géomètre anglais né en 1637, mort en 1670, a donné une rectification exacte de la parabole qui porte son nom. Huyghens avait traité la même question à peu près dans le même temps.

Appliquons-lui la formule générale de cubage.

$V = \frac{S}{n+1}$ H en faisant $n = 3$ il vient

$V = \frac{1}{4}$ SH, c'est-à-dire que le volume du néloïde est le quart de celui d'un cylindre de même base et de même hauteur (1).

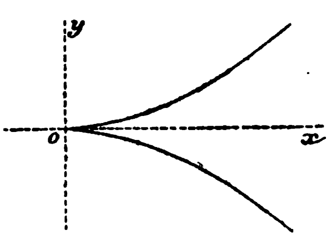


Fig. 3. — Parabole de Neil.

Pour cuber le *tronc de néloïde* la seule méthode pratique consiste à lui appliquer la formule de Newton.

$$V = \frac{H}{6}(S + 4\sigma + s)$$

attendu que l'expression de V en fonction de la hauteur et des sections ou rayons des sections de base est trop compliquée pour pouvoir être utilisée pratiquement (2).

Nous avons donc, en tout, quatre types dendrométriques

1° Le cylindre dont le volume est $V = S\,H$

2° Le paraboloïde dont le volume est $V = \frac{1}{2}SH$

et le tronc de paraboloïde dont le volume est $V = \frac{1}{2}H(S + s)$

$= \sigma\,H$

3° Le cône droit dont le volume est $V = \frac{1}{3}SH$

et le tronc de cône dont le volume est $V = \frac{\pi H}{3}(R^2 + r^2 + Rr)$

(1) On donnerait, pour la formule de cubage du néloïde, une démonstration élémentaire exactement parallèle à celle exposée plus haut pour le paraboloïde. Celle du tronc de néloïde peut aussi, à la rigueur, s'établir, ou plutôt se vérifier élémentairement.

(2) On arriverait à démontrer, par un calcul qu'il est sans intérêt de reproduire ici, que l'on a

$$V = \frac{H}{4}\left\{S + s + \sqrt[3]{Ss}\left(\sqrt[3]{S} + \sqrt[3]{s}\right)\right\}$$

ou bien encore

$$V = \frac{\pi H}{4}\left(R^2 + \sqrt[3]{R^4 r^2} + \sqrt[3]{R^2 r^4 + r^2}\right)$$

$$= \frac{1}{3} H(S + s + \sqrt{S s})$$

$$= \frac{1}{6} H (S + s + 4\sigma)$$

4° Le néloïde dont le volume est $V = \frac{1}{4} S H$

et le tronc de néloïde dont le volume est $V = \frac{1}{6} H (S + s + 4\sigma)$

Ces quatre types suffisent largement dans la pratique de la dendrométrie; quelle que soit la forme d'une grume elle peut toujours être assimilée avec exactitude suffisante à l'un ou à l'autre d'entre eux.

Le degré de précision de la méthode de cubage des grumes exposée ci-dessus dépend évidemment de la mesure dans laquelle se trouve réalisée l'hypothèse fondamentale qui assimile leur forme à celle d'un solide engendré par la rotation d'une parabole autour de son axe.

Une tige d'arbre n'a pas, en général, un axe rectiligne. Néanmoins les rayons de courbure de cet axe sont très grands de sorte que, si l'on ne considère que des pièces de faible longueur, leur axe peut être sensiblement rectiligne. C'est là une première raison pour laquelle *les cubages seront d'autant plus exacts que l'on opérera sur des pièces plus courtes.*

De plus la forme générale de la tige s'écarte plus ou moins du type dendrométrique auquel on l'assimile, de sorte que la formule de cubage sera plus ou moins erronée. On aura évidemment la chance d'erreur minima en employant, pour le calcul du volume, la formule de Newton qui s'applique également à tous les types dendrométriques entre les limites desquels les formes que l'on rencontre dans la nature sont presque toujours comprises.

Enfin la forme d'une pièce tant soit peu longue est toujours variable d'un point à l'autre. Il en résulte évidemment que *tout cubage précis oblige à décomposer les grumes en tronçons suffi-*

samment courts pour que l'on puisse admettre que la forme reste constante pour chacun d'eux (1).

Voici comment on peut effectuer les calculs lorsqu'on veut obtenir les résultats les plus exacts que comporte la matière.

Soit une pièce à cuber terminée par deux plans perpendiculaires à l'axe. On la partage idéalement en un nombre pair de

(1) Pour vérifier si une tige ou un fragment de tige a une forme parabolique, il suffit de vérifier si des sections transversales équidistantes ont des surfaces variant de quantités constantes, ou bien, ce qui est la même chose, si les carrés des diamètres ou des circonférences varient d'une quantité constante pour des sections équidistantes

Appliquons cette règle à une tige d'épicéa provenant d'une forêt vierge des Carpathes de Moldavie dont la hauteur totale était de 59 m. 30.

Hauteur des sections au-dessus du sol	Carrés des diamètres	Différences des carrés	OBSERVATIONS	Hauteur des sections au-dessus du sol	Carrés des diamètres	Différences des carrés	OBSERVATIONS
mètr.				mèt.			
0	122			30	28		
		22	Évasement au pied de l'arbre.			2	Partie parabolique.
2	100			32	26		
		4	Partie parabolique.			2	
4	96			34	24		
		4				2	
6	92			36	22		
		0				3	
8	92			38	19		
		22	Bouquet de branches.			1	
10	69			40	18		
		3	Partie parabolique.			8	Grosse branche.
12	66			42	10		
		4				2	Partie parabolique.
14	62			44	8		
		4				2	
16	58			46	6		
		3				2	
18	55			48	4		
		3				1	
20	52			50	3		
		3				1	
22	49			52	2		
		3				1	
24	46			54	1		
		4				»	
26	42			56	»		
		1				»	
28	41			58	»		
		12	Grosses branches.			»	
30	28			60	0		

On peut, au lieu des différences des carrés des deux diamètres consécutifs,

parties de longueurs égales h, soit huit dans le cas de la figure ci-contre (fig. 4).

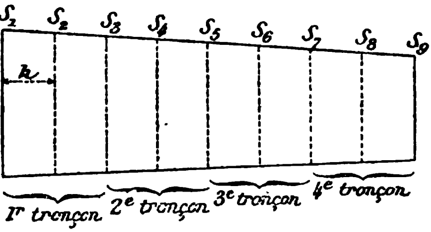


Fig. 4.

Soient S_1 S_2 S_3... S_9 les 9 surfaces des diverses sections ; cubons chaque groupe de deux parties consécutives (chaque tronçon) par la formule de Newton. Nous avons :

pour le premier tronçon, $$V_1 = \frac{1}{3} h \,(S_1 + 4\, S_2 + S_3)$$

considérer le produit de leur différence par leur somme, ou par leur demi-somme, ou, ce qui est sensiblement la même chose, par le diamètre mesuré au milieu de la distance qui les sépare. En d'autres termes, si l'on a mesuré les diamètres à 1, 2, 3, 4, 5, etc.,mètres, à partir de l'extrémité d'une pièce, il faut,pour que celle-ci ait une forme parabolique, que le produit du diamètre à n mètres par la différence des diamètres à $n - 1$ et $n + 1$ mètres soit constant.

On peut alors donner aux calculs la disposition suivante :

HAUTEUR des sections au-dessus du sol	DIAMÈTRES	DIFFÉRENCES des diamètres	DIAMÈTRES	PRODUIT des diamètres par les différences	HAUTEUR des sections au-dessus du sol	DIAMÈTRES	DIFFÉRENCES des diamètres	DIAMÈTRES	PRODUIT des diamètres par les différences
mètr.					mètr.				
1	67	»	»	»	16	»	2	49	15
2	»	3	64	19	17	47	»	»	»
3	64	»	»	»	18	»	3	46	14
4	»	4	62	25	19	44 (2)	»	»	»
5	60	»	»	»	20	»	5	43	21
6	»	2	59	11	21	39	»	»	»
7	58	»	»	»	22	»	7	36	25
8	»	1	57	6	23	32	»	»	»
9	57	»	»	»	24	»	11	27	30
10	»	1	57	6	25	21	»	»	»
11	56 (1)	»	»	»	26	»	8	16	18
12	»	3	54	16	27	13	»	»	»
13	53	»	»	»	28	»	13	3	3
14	»	3	52	16	29	0	»	»	»
15	50	»	»	»					

(1) Branches mortes.
(2) Premières grosses branches.

On voit que cet arbre, qui est un jeune sapin ayant crû en massif très serré, avait une décroissance inférieure à celle d'un paraboloïde, c'est-à-dire une forme se rapprochant du cylindre de 4 jusqu'à 12 mètres, puis une forme presque rigoureusement parabolique de 12 mètres aux premières branches.

Ce fait est général pour les arbres de massif serré. On les trouve sensiblement

pour le second, $V_2 = \frac{1}{3} h \, (S_3 + 4 \, S_4 + S_5)$

pour le troisième, $V_3 = \frac{1}{3} h \, (S_5 + 4 \, S + S_7)$

pour le quatrième, $V_4 = \frac{1}{3} h \, (S_7 + 4 \, S_8 + S_9)$

et, pour le volume total

$$V = \frac{1}{3} h \, [S_1 + 4 \, (S_2 + S_4 + S_6 + S_8) + 2 \, (S_3 + S_5 + S_7) + S_9]$$

formule connue sous le nom de *formule de Simpson* et qui s'énonce ainsi :

On multiplie le tiers de l'équidistance des sections par la somme de une fois la surface des sections extrêmes plus deux fois la somme des surfaces des sections de numéro impair plus quatre fois la somme des surfaces des sections de numéro pair.

Cette formule est de beaucoup la plus exacte qu'on puisse employer. Elle suffit largement non seulement à toutes les exigences de la pratique, mais encore dans les recherches scientifiques les plus minutieuses. Elle n'a que l'inconvénient d'être d'une application un peu longue et laborieuse parce qu'elle nécessite des calculs qu'aucun barême ne permet d'abréger.

Dans la pratique des cubages du commerce, on n'emploie jamais que le procédé très simple qui consiste à multiplier la section médiane par la longueur de la pièce.

Ce procédé est correct dans le cas de formes paraboliques, qui sont de beaucoup les plus fréquentes, au moins chez les arbres âgés et crûs en massif. Appliqué à des pièces qui ne sont pas trop longues, il donne des résultats très satisfaisants étant donné le degré de précision qu'il y a intérêt à

cylindriques sur le tiers ou le quart environ de la longueur (abstraction faite de l'évasement du pied), *puis paraboliques; la cime a des formes très variables suivant l'importance des branches.* Immédiatement au-dessous du point d'insertion d'une branche, la décroissance est très faible, souvent nulle, quelquefois même, lorsqu'il s'agit d'une forte branche, il y a un renflement. En revanche, la tige a un diamètre beaucoup plus faible immédiatement au-dessus de la branche.



poursuivre dans le cubage en vue de l'estimation des bois.

Si les pièces s'écartent de la forme parabolique on commet, en les cubant par la section médiane, une erreur qu'il est intéressant d'examiner de près.

1° Supposons que la pièce a une forme tronc-conique.

Le volume réel est, en employant les notations ordinaires

$$V = \frac{\pi}{3} H (R^2 + r^2 + Rr).$$

L'erreur consiste à lui attribuer un volume différent.

$$V' = \pi H \left(\frac{R + r}{2}\right)^2 = \frac{\pi H}{4} (R^2 + r^2 + 2 Rr).$$

Sa grandeur est égale à la différence

$$V - V' = \frac{1}{12} \pi H (4 R^2 + 4r^2 + 4Rr - 3R^2 - 3r^2 - 6Rr)$$

$= \frac{1}{12} \pi H (R - r)^2$; c'est le douzième du volume d'un cylindre ayant pour hauteur celle du tronc de cône et pour rayon la grandeur $R - r$ d'où il ressort que l'erreur commise est en moins, c'est-à-dire que le volume calculé est inférieur au volume réel;

De plus que l'erreur est proportionnelle à la longueur de la pièce, et enfin qu'elle est proportionnnelle au carré de la différence des rayons des sections extrêmes.

2° Supposons que la pièce présente une forme néloïdique. Il n'est pas possible de donner une formule *simple* de la grandeur de l'erreur commise en cubant un tronc de néloïde au moyen du produit de la section médiane par la longueur. Il suffira de dire que l'erreur est de même sens que dans le cas du tronc de cône, c'est-à-dire en moins, et qu'elle est sensiblement de cinquante pour cent plus forte (1).

Il résulte de ce qui précède que toutes les fois que les pièces à cuber ont une forme se rapprochant du cône ou à plus forte

(1) Si l'on voulait cuber un tronc de cône en multipliant par la longueur la demi-somme des sections extrêmes l'erreur serait double de celle résultant du cubage par la section médiane, et de sens inverse, c'est-à-dire en trop.

En effet au volume réel $\frac{1}{3} \pi H (R^2 + r^2 + Rr)$ on substitue la valeur $\frac{1}{2} \pi H (R^2 + r^2)$.

raison du néloïde on obtiendra, en les cubant au moyen de la section médiane, un résultat trop faible.

M. Flury, de la Station de recherches suisse, a fait de nombreux mesurages en vue de se rendre compte de l'approximation que donne le procédé du commerce appliqué à diverses essences. Voici le résultat auquel il est arrivé (1).

Erreurs, en tant pour cent du volume réel (2), qui résultent du cubage des grumes au moyen du produit de la longueur par la surface de la section médiane.

ESSENCES	DANS LE CAS OU LE DIAMÈTRE AU PETIT BOUT EST DE							
	7 CENTIMÈTRES		16 CENTIMÈTRES		24 CENTIMÈTRES		30 CENTIMÈTRES	
	Nombre des tiges mesurées	Erreur °/o	Nombre des tiges mesurées	Erreur °/o	Nombre des tiges mesurées	Erreur °/o	Nombre des tiges mesurées	Erreur °/o
Epicéa	576	+ 1.4	60	— 0.4	60	— 2.4	60	— 3.6
Sapin	158	— 1.6	49	+ 1.2	49	— 0.6	49	— 2.3
Hêtre	479	— 2.3	»	»	»	»	46	— 1.6
Pin sylvestre	12	— 4.3	»	»	»	»	»	»
Pin weymouth	29	— 1.2	»	»	»	»	»	»

Dans ce tableau l'erreur est exprimée en tant pour cent du volume réel; elle est affectée du signe + lorsque la méthode usuelle donne un résultat trop fort, du signe — dans le cas contraire.

La grandeur de l'erreur est $\frac{1}{2}\pi H (R^2 + r^2) - \frac{1}{3}\pi H (R^2 + r^2 + Rr)$.

$$= \frac{1}{6}\pi H (3R^2 + 3r^2 - 2R^2 - 2r^2 - 2Rr).$$

$$= \frac{1}{6}\pi H (R-r)^2$$; c'est bien le double de l'erreur que donne l'emploi de la section médiane.

Si c'était un tronc de néloïde qu'on voulût cuber par ce procédé, l'erreur serait aussi en trop et très notablement plus grande (de cinquante pour cent environ).

(1) *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen*, IIe volume, pages 164 à 176 (Zürich, 1892) et Ve volume, page 252 (Zürich, 1897).

(2) Le volume réel a été déterminé en cubant les tiges par tronçons de 2 mètres de long.

On voit que, pour des essences d'ombre comme l'épicéa, le sapin, le hêtre, qui ont crû dans des massifs bien pleins, le procédé usuel donne des résultats trop forts si l'on considère les tiges sur toute leur longueur (ou jusqu'à 7 centimètres de diamètre au petit bout). L'erreur est sensiblement la même chez le sapin et l'épicéa, et assez notablement plus forte chez le hêtre. Ce fait s'explique facilement si l'on considère que *les arbres de futaie âgés ayant crû en massif plein présentent souvent sur un cinquième environ de la longueur, à partir du pied, une forme à peu près cylindrique à laquelle succède, sur les deux cinquièmes suivants, c'est-à-dire jusqu'aux premières branches, une forme parabolique, tandis que les deux derniers cinquièmes, dans la cime, ont une forme néloïdique* (1). Lorsque la pièce cubée est assez longue pour comprendre une grande partie de la région néloïdique, le volume obtenu en multipliant la section médiane par la longueur se trouve naturellement beaucoup trop fort.

Si l'on fait la découpe supérieure moins près du bourgeon terminal l'erreur décroît rapidement et devient nulle pour l'épicéa arrêté à un diamètre minimum de 10 à 12 centim. environ, chez le sapin ou le hêtre arrêtés vers 20 à 22 centimètres.

Pour des pièces plus courtes, ne comprenant plus que le fût ou même seulement une partie du fût, la méthode usuelle donne des résultats trop faibles à cause de la forme presque cylindrique de la partie inférieure du fût (2). L'erreur en moins, qui va d'abord grandissant avec la réduction de la longueur de la pièce

(1) La question de la forme des tiges d'arbres sera examinée avec tous les détails qu'elle comporte, dans la 6e Etude.

(2) M. Cornebois, Inspecteur des forêts et chef du service des aménagements à Strasbourg, avait entrepris, en 1862, de vérifier le degré d'exactitude de la méthode de cubage des grumes, qui consiste à faire le produit de la section médiane par la longueur.

Il avait opéré d'abord sur des grumes provenant de sapins âgés de 110 à 140 ans ayant crû dans les forêts jardinées de la vallée de Münster (Haut-Rhin). Les pièces cubées avaient 21 à 24 mètres de longueur et 0m70 de tour au petit bout. L'erreur donnée par le procédé de cubage du commerce fut de 5 p. 100 *en moins*.

Des pins sylvestres, provenant de la forêt de Brumath (Bas-Rhin, en plaine, à l'altitude de 150 mètres) donnèrent, pour des grumes arrêtées à 0m40 de tour au petit bout, et mesurant de 20 à 27 mètres de longueur, une erreur *en moins* de 4,6 p. 100 du volume réel. (*Revue des Eaux et Forêts* de 1865, page 339).

(ou avec l'augmentation du diamètre au petit bout) passera par un maximum, redeviendra nulle puis positive à nouveau lorsque la section médiane, s'abaissant, se trouvera placée dans le voisinage de la partie cylindrique. A partir de ce moment, l'erreur de cubage (en ne tenant pas compte de l'évasement du pied de l'arbre) restera positive, etc., etc.

En tous cas les erreurs sont faibles et tolérables dans la pratique lorsqu'il s'agit de cuber des sapins, épicéas ou hêtres découpés à 20 ou 25 centim. de diamètre au petit bout.

Pour les essences de lumière croissant à l'état de massif clair ou à l'état isolé la forme de la tige est voisine de celle du cône ou même du néloïde ; les erreurs données par le procédé du commerce peuvent être très fortes et au détriment du vendeur, c'est-à-dire que les volumes indiqués par le calcul sont inférieurs au volume réellement vendu.

Ceci s'applique à des arbres de formes presque géométriques, comme le sont en toute première ligne les épicéas, puis les sapins, ensuite les hêtres lorsque ces arbres ont poussé en massifs équiennes bien pleins.

Pour les autres arbres la forme est beaucoup plus brusquement irrégulière et la méthode du commerce ne peut être employée que pour des fragments de faible longueur. On s'expose, en l'appliquant sans discernement, aux résultats les plus inexacts, les plus absurdes même. C'est ainsi *qu'il peut arriver, par exemple, que le volume calculé pour une pièce en grume non seulement n'augmente pas, mais même qu'il diminue lorsqu'on lui donne une plus grande longueur*. Il est facile de se rendre compte des conditions dans lesquelles ce résultat, d'apparence paradoxale, peut se produire.

Soit une pièce dont la section médiane est σ et la longueur l. Si l'on augmente la longueur de la quantité dl la section médiane se trouve reportée d'une longeur $\frac{dl}{2}$ vers la cime et diminue, par conséquent, d'une quantité $d\sigma$.

Le volume qui était $l\sigma$ devient $(l + dl)(\sigma - d\sigma)$

pour qu'il ait augmenté il faut que

$$(l + dl)(\sigma - d\sigma) > l\sigma \text{ ou bien}$$

$$l\sigma - ld\sigma + \sigma dl - dld\sigma > l\sigma$$

$$\sigma dl - ld\sigma - dl\, d\sigma > 0$$

en négligeant le terme $dl\ d\sigma$ très petit par rapport aux autres

$$\sigma dl > ld\sigma \text{ ou bien}$$

$$\frac{dl}{l} > \frac{d\sigma}{\sigma}$$

C'est-à-dire, ainsi qu'il était facile de le voir *a priori*, il faut que l'accroissement relatif de la longueur soit supérieur à la décroissance relative de la section qui en résulte. Cette condition peut parfaitement ne pas se trouver réalisée pour peu que la décroissance soit un peu forte dans la région de la tige où se trouve la section médiane, même abstraction faite d'anomalies de forme évidentes. On a vu du reste, plus haut, que, pour des arbres de forme bien régulière, sapins, hêtres, épicéas, l'erreur du cubage par le procédé du commerce est en plus pour des pièces assez courtes pour que la section médiane tombe dans la partie supérieure de la région cylindrique, c'est-à-dire pour des pièces dont la longueur totale est inférieure aux deux cinquièmes environ de la longueur du fût tandis qu'elle était en moins pour des pièces plus longues. On conçoit qu'un acheteur ait intérêt dans ces conditions (spéciales aux arbres âgés provenant des massifs très serrés) à ce que les cubages soient faits sur des pièces aussi longues que possible.

A plus forte raison en sera-t-il ainsi dans le cas d'anomalies de forme. En voici un exemple très fréquent chez les arbres de réserve des taillis-sous-futaie.

Une tige a été amputée en CD d'une forte branche (fig. 5). Si on lui laisse à partir de la base B une longueur BA telle que la section médiane σ soit placée au-dessous du nœud, il saute aux yeux que le volume sera plus grand que si on lui donne une longueur BA' plus grande mais qui reporte la section médiane en σ', au-dessus du nœud.

On s'est souvent préoccupé de trouver des formules de cubage simples plus exactes que celles du commerce. Déjà Duhamel avait proposé de mesurer trois circonférences sur les grumes et d'en faire la moyenne pour calculer le volume d'après cette

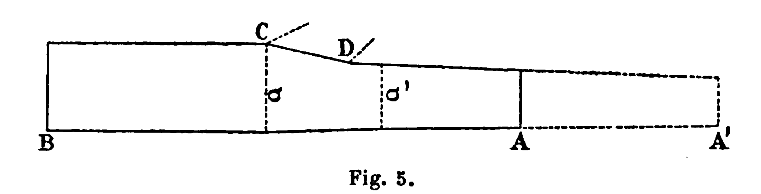


Fig. 5.

moyenne (1). Plus tard, nous voyons proposer de décomposer les grumes en fragments dont chacun sera cubé comme tronc de cône ; des tables ont même été publiées en vue de faciliter ce *cubage tronconique* (2). Plus récemment, M. Frochot (3) recommanda de cuber les grumes en formant la moyenne du volume de trois cylindres ayant pour sections les sections extrêmes et médiane de la pièce. C'est ce qu'il appelait la méthode des trois cylindres. M. le professeur Simony, de Vienne, a proposé la formule suivante (4):

Soit $S_{1/3}$ la section mesurée au tiers de la longueur à partir du gros bout, et l la longueur ; on aurait, très sensiblement, pour le volume V

$$V = \frac{3}{4} S_{1/3}\, l$$

Lorsqu'on peut mesurer deux sections, on obtient les meilleurs résultats, d'après M. Simony, en mesurant celles placées à un cinquième de la longueur à partir des deux extrémités. Soient $S_{1/5}$ la section au cinquième de la longueur près du gros bout

(1) *Op. cit.*, 2e vol., page 607.

(2) *Table des cônes tronqués pour le cubage des bois*, par Ph. le Duc. Paris, 1865.

(3) *Guide théorique et pratique de cubage*, par A. Frochot, 1re édit. Paris, chez Lacroix, 1877. 3e édition, revue, Paris, chez Hetzel, 1890, p. 296.

(4) Voir plus loin la formule de Hossfeld, page 112. Pour les travaux de M. Simony, voir *Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Œsterreichs*, XXVIe fascicule. Vienne, chez Frick, 1901.

$S_{4/5}$ celle à distance égale du petit bout, c'est-à-dire aux quatre cinquièmes de la longueur à partir du gros bout on a

$$V = \frac{1}{2} l (S_{1/5} + S_{4/5})$$

On recommande, lors de l'emploi de cette formule, de décomposer les pièces un peu longues en deux tronçons à cuber séparément. M. Schiffel (1) a montré qu'elle donne des résultats très exacts (erreur inférieure à 1 0/0) lorsque les tiges ont une forme *constante*. Lorsque cette forme est variable, l'erreur devient comparable à celle que donne la méthode usuelle du commerce.

Si l'on peut mesurer trois sections les résultats seraient les meilleurs, d'après M. Simony, en plaçant l'une $S_{1/7}$ au septième de la longueur à partir du gros bout, la seconde, σ, au milieu, et la troisième $S_{6/7}$ aux six septièmes de la longueur à partir du gros bout, symétriquement à la première (à un septième de la longueur à partir du petit bout)

$$\text{on a alors } S = \frac{1}{3} l (S_{1/7} + \sigma + S_{6/7})$$

formule qui, d'après M. Schiffel (2), s'appliquerait bien aux arbres de formes les plus diverses et même de formes très irrégulières.

Enfin, M. Schiffel propose la formule suivante qui donnerait, d'après ses constatations, d'excellents résultats dans tous les cas.

$$V = l \left(0.61\ S_{1/4} + 0.62\ S_{3/4} - 0.23\ S_{1/4} \frac{d_{3/4}}{d_{1/4}}\right)$$

Ici $S_{1/4}$ et $S_{3/4}$ sont les surfaces, $d_{1/4}$ et $d_{3/4}$ les diamètres des sections mesurées à des distances $\frac{l}{4}$ et $\frac{3l}{4}$ du gros bout de la pièce.

(1) *Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs*, XXVIIe fascicule, Vienne, 1902 (Frick, éditeur).

(2) *Op. cit.*, pagé 22.

La formule de M. Schiffel est évidemment beaucoup trop compliquée pour l'emploi dans la pratique des cubages. Son auteur a cherché à faciliter son usage de la manière suivante :

$$\text{Soit } K = \frac{d_{3/4}}{d_{1/4}} \text{ il en résulte que } K^2 = \frac{S_{3/4}}{S_{1/4}}$$

et la formule de cubage peut alors s'écrire

$$V = l\, S_{1/4}\,(0.61 + 0.62\, K^2 - 0.23\, K)$$

La quantité entre parenthèses au second membre est une grandeur que M. Schiffel a appelée *coefficient de volume* (*Inhalts-factor*) dont la grandeur peut se calculer pour toutes les valeurs que peut prendre, en pratique, le rapport K. On trouvera dans la publication de la Station de recherches autrichienne, pages 50 et 51, un tableau donnant la valeur de ce coefficient de volume pour toutes les valeurs de K comprises entre 0.300 et 0.998.

Les calculs peuvent encore être facilités davantage et l'on peut construire un barême presque aussi simple d'emploi que nos tarifs de cubage habituels en calculant directement une table à trois entrées qui donne la valeur de V pour toutes les valeurs usuelles de l, de $d_{1/4}$ et de $d_{3/4}$. Cette table a été construite par M. Schiffel et se trouve imprimée dans sa publication. Elle y occupe quarante-neuf pages, format in-4° ; il ne saurait être question de la reproduire ici. Nous croyons cependant rendre service en en publiant un extrait que nous avons établi dans l'hypothèse ou $l = 1$ et où les deux diamètres $d_{1/4}$ et $d_{3/4}$ sont exprimés en multiples de 5 centim. variant de 20 à 50 pour le premier, de 10 à 40 pour le second.

Tarifs généraux de cubage pour les bois en grume calculés en fonction du diamètre $d_{1/4}$ mesuré à un quart, et du diamètre $d_{3/4}$ mesuré aux trois quarts de la longueur totale à partir du gros bout.

VALEURS DE $d_{1/4}$	VALEURS DE $d_{3/4}$	VALEUR par mètre courant de longueur de la pièce	OBSERVATIONS
centim.	centim.	mètres cubes	
20	10	0.0204	La table détaillée donnant directement le volume pour des longueurs de la pièce à cuber variant de 10 à 30 m.; pour des valeurs de $d_{1/4}$ variant de centimètre en centimètre de 9 à 50 et des valeurs de $d_{3/4}$ variant de centimètre en centimètre de 5 à 41 se trouve dans le XXVII[e] fascicule des publications de la station de recherches forestières de Mariabrunn. (*die Kubierung von Rundholz*, von A. Schiffel, K. K. Forstrath, Vienne, Frick, éditeur, 1902).
	15	0.0247	
25	10	0.0303	
	15	0.0341	
	20	0.0404	
30	15	0.0459	
	20	0.0518	
	25	0.0599	
35	20	0.0654	
	25	0.0733	
	30	0.0835	
40	25	0.0889	
	30	0.0987	
	35	0.111	
45	25	0.107	
	30	0.117	
	35	0.128	
50	25	0.128	
	30	0.136	
	35	0.148	
	40	0.162	

L'emploi de toutes ces formules présente plus ou moins, au point de vue de la pratique courante, les mêmes inconvénients qui sont :

1° Dès qu'il intervient plusieurs sections ou diamètres dans le calcul, l'emploi des barêmes ou tarifs de cubage devient plus ou moins compliqué et les opérations deviennent ainsi trop longues pour la pratique en grand ;

2° Lorsque les diamètres doivent être mesurés ailleurs qu'au milieu des pièces leur emplacement ne peut être déterminé que par un calcul, lequel, si simple qu'il soit, complique cependant trop l'opération pour qu'il y ait intérêt à renoncer au procédé traditionnel.

Celui-ci donne, du reste, lorsqu'il est appliqué avec discernement, des résultats suffisants pour les cubages qui n'ont d'autre but que d'arriver à une estimation en argent, toujours forcément approximative, de la valeur des bois. Lorsqu'il est employé sur des tronçons qui n'ont pas plus de 2 à 4 mètres de longueur il fournit des résultats à peu près équivalents à ceux que donnent les formules de Newton (ou de Simpson), et avec des calculs plus simples.

Les calculs auxquels donne lieu le cubage des pièces en grume s'effectuent rapidement au moyen de **barêmes ou tarifs**. Les barêmes sont des tables à double entrée donnant directement le volume d'un cylindre en fonction de son diamètre ou de sa circonférence et de sa longueur. Il en existe un grand nombre dans le commerce, répondant à tous les besoins particuliers. On trouvera, à la fin de cette étude, trois tables de ce genre dont nous nous sommes efforcé d'écarter les erreurs qui entachent trop souvent les publications de l'espèce.

Lorsqu'on n'a pas à sa disposition de barêmes permettant d'employer commodément les formules de cubage, on peut recourir à des **procédés qui donnent le moyen de faire, même de tête, le cubage approximatif.**

1er cas. On a mesuré le diamètre au milieu d et la longueur d'une pièce.

$$\text{on a } V = \frac{\pi}{4} d^2 l = 0.7854\ d^2 l.$$

Le calcul s'effectue comme suit:
d est mesuré, en pratique, de cinq en cinq centimètres. Il est donc exprimé par des nombres multiples de 5, tels que 20, 25, 30, 35, 40, 45, etc. Le carré des nombres impairs de cette série, 45, par exemple, se fait très facilement grâce à la remarque suivante:

$$(45 - 5)(45 + 5) = \overline{45}^2 - \overline{5}^2 \text{ d'où } \overline{45}^2 = 40 \times 50 + 25 = 2025$$

$$\text{de même } \overline{55}^2 = 50 \times 60 + 25 = 3025$$

$$\overline{65}^2 = 60 \times 70 + 25 = 4225, \text{ etc.}$$

C'est-à-dire qu'il suffit, pour avoir le carré, de faire le produit, facile à calculer de tête, des termes précédant et suivant de la série et d'ajouter 25 unités. On peut aussi se dispenser de cette dernière addition, ce qui simplifie encore le calcul. Quant au produit 0.7854 l on le remplace par 0.8 l, ce qui introduit une erreur en trop, venant en compensation de celle qui résulte de la simplification précédente. On peut aussi faire le produit $d^2 l$ et en retrancher 20 pour cent.

Soit, par exemple, une pièce de 65 centimètres de diamètre au milieu et de 8 mètres de long. Son volume sera approximativement, en mètres cubes :

$$0,6 \times 0,7 \times 8 = 0.42 \times 8 = 3.36$$

dont il y a à retrancher 20 pour cent, soit : 0.67

il reste 2.69

Le volume réel serait de 2 mc. 65 (1).

2e cas. On a mesuré la circonférence au milieu et la longueur d'une pièce.

On double la circonférence, on en prend le dixième. On élève au carré ce dixième et on multiplie par la longueur. Le produit représente la moitié du volume réel. Ce procédé est facile à justifier (2). Si C est la circonférence au milieu, le volume V est :

$$V = \frac{1}{4\pi} C^2 l$$

La règle ci-dessus donne un volume V'

$$V' = \left(\frac{c}{5}\right)^2 l = \frac{1}{25} c^2 l$$

(1) Cette règle de cubage des grumes se trouve déjà dans les traités de cubage du XVIIIe siècle, par exemple dans celui de Segondat (1782), qui prescrit de prendre comme volume les $\frac{11}{14}$ (c'est-à-dire 0.79) du produit du carré du diamètre par la longueur.

(2) Voir plus loin page 38.

Or $\frac{1}{25} = 0.50265$ de $\frac{1}{4\pi}$; le volume V' est donc égal à 0.50265 du volume réel V.

Soit, par exemple, une pièce de 1 m. 80 de tour au milieu et de 8 m. de longueur.

Le volume V' sera $\overline{0.\ 36}^2 \times 8 =$ 1 mc. 037.
dont le double est 2 mc. 074.

Le volume exact étant de 2 mc. 062.

On peut aussi remarquer que le volume réel

$$V = \frac{1}{4\pi} C^2 l = 0.0796\ C^2 l$$

est presque exactement (à moins de quatre dix millièmes près) les huit dixièmes du produit du carré de la circonférence par la longueur.

On peut enfin, pour cuber une grume, prendre le quart de la circonférence, l'élever au carré et multiplier par la longueur. On obtient ainsi un volume qui est égal à 0.7854 ou, sensiblement, aux huit dixièmes du volume réel.

§ 2. — *Les cubages réduits du commerce.*

I. — Origine des cubages réduits

Aux époques antérieures on s'efforçait le plus possible de débiter les bois sur le lieu même de leur abatage, de façon à n'avoir pas à transporter les déchets et à hâter, avec la dessiccation des pièces, la diminution de poids qui en résulte. Tout au moins pratiquait-on un équarrissage sommaire à la hache pour enlever l'écorce, l'aubier et les parties rondes du bas de la tige. La pièce ainsi façonnée devenait le véritable objet de commerce, celui qu'on exportait de la forêt.

De là est né l'usage de déterminer, non pas le volume des grumes, mais celui des pièces équarries que ces grumes peuvent fournir. Cette façon d'opérer, universellement adoptée autrefois, tend de plus en plus à être abandonnée depuis qu'on a

pris l'habitude d'exporter de la forêt les grumes intactes et de faire ainsi le commerce de bois ronds.

Cependant dans beaucoup de régions les anciens modes de cubage sont encore pratiqués par les marchands de bois et nous ne pouvons nous dispenser d'en faire mention ici.

II. — Cubage au quart sans déduction

Les sapins ou épicéas destinés à la charpente étaient autrefois équarris à la hache, en forêt, sur une partie de leur longueur au gros bout. La partie moyenne présentait des flaches de plus en plus importantes, la partie supérieure restant ronde (1). On admet que le volume d'une pareille *charpente à la hache* est équivalent à celui d'une pièce à section carrée ayant pour côté le quart de la longueur de la circonférence médiane et pour longueur celle de la pièce. De là est né le *cubage au quart*, encore très souvent usité dans le commerce des charpentes. Il consiste à mesurer la circonférence médiane de la grume, à en prendre le quart, à élever ce quart au carré, et à multiplier ce carré par la longueur de la pièce.

Soit V_4 le volume au quart, C le circonférence médiane, L la longueur, on aura

$$V_4 = \frac{C}{4} \times \frac{C}{4} \times L = \frac{C^2}{16} L.$$

La grandeur $\frac{C}{4}$, côté de la pièce équarrie à vive arête, de section carrée, dont le volume serait équivalent à celui de la charpente débitée suivant l'usage commercial, s'appelle, assez improprement du reste dans le cas du cubage au quart, l'*épaisseur* de la pièce.

Si l'on veut se rendre compte du rapport qui existe entre le

(1) Aujourd'hui on ne débite plus guère ainsi que les arbres de petites dimensions destinés à donner des perches pour échafaudages ou bien des chevrons de toiture. Les charpentes proprement dites, poutres, solives, etc., se façonnent de plus en plus à la scie, dans des usines où les arbres sont apportés en grume.

volume au quart V_4 et le volume en grume V, il est facile de voir que puisque

$$V_4 = \frac{C^2}{16} \times L \text{ tandis que}$$

$$V = \frac{C^2}{4\pi} \times L \text{ l'on aura}$$

$$\frac{V_4}{V} = \frac{\pi}{4} = 0{,}7854...$$

c'est-à-dire que le volume au quart est un peu moins des quatre cinquièmes du volume en grume, ce qui revient à admettre que le déchet de l'équarrissage sera légèrement supérieur à un cinquième.

III. — Cubage au sixième déduit

Lorsque les grumes doivent fournir des pièces parfaitement équarries sur toute leur longueur, on les cube par le procédé suivant :

On mesure la circonférence médiane, on en retranche le sixième, on prend le quart du reste, on l'élève au carré et on multiplie ce carré par la longueur de la pièce. En d'autres termes on prend comme épaisseur (qui ici est égale au côté de l'équarrissage) le quart de la circonférence préalablement diminué d'un sixième (1). Soit V_6 le volume au sixième déduit, l'on aura

$$V_6 = \frac{C - \frac{C}{6}}{4} \times \frac{C - \frac{C}{6}}{4} \times L = \left(\frac{5}{24}\right)^2 C^2 L.$$

Le volume au sixième déduit étant

$$V_6 = \left(\frac{5}{24}\right)^2 C^2 L$$

tandis que celui en grume est de

$$V = \frac{1}{4\pi} C^2 L$$

(1) Voir plus haut, page 4.

il est facile de calculer que le rapport du volume au sixième déduit au volume en grume est :

$$\frac{V_6}{V} = \left(\frac{5}{24}\right)^2 \times 4\pi = 0,554.$$

Le cubage au sixième déduit s'emploie pour les essences qui doivent fournir des pièces équarries à vive arête et ne présentent pas d'aubier pratiquement distinct. Tels sont généralement les hêtres, les charmes, parfois les gros sapins, etc.

IV. — Cubage au cinquième déduit

Dans le commerce, les chênes destinés au sciage se cubent souvent en retranchant de la circonférence le cinquième de sa valeur avant de prendre l'épaisseur. Il est évident que cette épaisseur, ou côté d'équarrissage de la pièce équarrie à vive arête de longueur égale et de volume égal, sera alors égale au cinquième de la circonférence. En effet l'on a :

$$\frac{1}{4}\left(C - \frac{1}{5}C\right) = \frac{1}{4} \times \frac{4}{5}C = \frac{C}{5}$$

On multiplie donc, pour cuber au cinquième déduit, le cinquième de la circonférence par lui-même et ce produit par la longueur. Si V_5 est le volume au cinquième déduit, C la circonférence et L la longueur on a :

$$V_5 = \frac{C}{5} \times \frac{C}{5} \times L = \frac{C^2}{25} L.$$

Dans le cas de la pièce prise comme exemple ci-dessus, le volume sera :

$$V_5 = \frac{1.20}{5} \times \frac{1.20}{5} \times 16 = 0^{mc},9216.$$

Si l'on voulait comparer le volume au cinquième déduit au volume en grume on verrait facilement que :

$$\frac{V_5}{V} = \frac{4\pi}{25} = 0,5026...$$

Il résulte de là que le volume au cinquième déduit est, très approximativement, égal à la moitié du volume en grume (1).

Le calcul à effectuer pour obtenir le volume au cinquième est facile à faire, même de tête, si l'on songe que le cinquième d'un nombre est égal au dixième de ce nombre doublé. De là cette règle :

Pour obtenir le volume au cinquième déduit, doublez la circonférence médiane, multipliez le résultat par lui-même et encore par la longueur, et prenez la centième partie du produit. Ou bien encore : Multipliez la circonférence médiane par elle-même, puis le produit par le quart de la longueur, et prenez la centième partie du résultat.

Cette règle est parfois utile pour arriver au volume en grume qu'on obtient en doublant le volume au cinquième.

Le cubage au cinquième déduit s'emploie pour les essences qui doivent fournir des pièces équarries à vive arête et *purgées d'aubier*. Tels sont, par exemple, les chênes de sciage qu'on cube souvent par ce procédé.

On pourrait évidemment multiplier le nombre de ces modes de cubages réduits (1). Les trois qui précèdent sont les seuls qui aient subsisté dans le commerce. Il existe en librairie de très nombreux tarifs donnant directement les volumes réduits en fonction des circonférences ou des diamètres médians.

Le petit tableau ci-dessous donne les facteurs à employer pour passer de l'un quelconque de ces modes de cubage à l'un quelconque des autres.

MODE DE CUBAGE	EN GRUME	AU QUART SANS DÉDUCTION	AU SIXIÈME DÉDUIT	AU CINQUIÈME DÉDUIT
En grume	1.0000	0.7854	0.5454	0.5026
Au quart sans déduction	1.2732	1 0000	0.6944	0.6400
Au sixième déduit	1.8835	1.4400	1.0000	0.9216
Au cinquième déduit	1.9894	1.5625	1.0851	1.0000

(1) Voir plus haut, page 4.

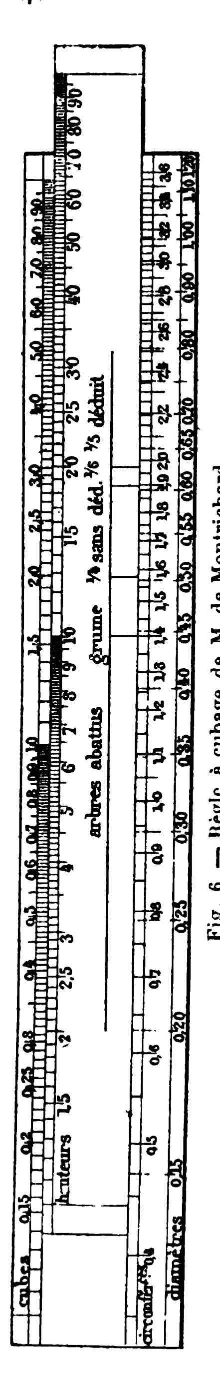


Fig. 6. — Règle à cubage de M. de Montrichard.

V. — Règle a cubage de M. de Montrichard.

Un inspecteur des forêts, M. de Montrichard, a imaginé une règle à cubage dont l'emploi permet de se passer de tarifs. Cette règle est analogue à la règle à calcul ordinaire et, bien que son emploi ne soit guère répandu dans la pratique, il ne sera pas inutile d'en donner ici une description sommaire empruntée à l'inventeur lui-même (1).

Pour cuber un arbre abattu, on mesure sa hauteur de bois d'œuvre, puis, au milieu de cette longueur, on mesure la circonférence ou le diamètre de l'arbre.

On lit la circonférence ou le diamètre, suivant qu'on a mesuré l'une ou l'autre, sur la partie inférieure de la règle; puis, sur le trait indiqué par cette lecture, on fait arriver le trait de la réglette mobile portant l'indication : grume ; *on cherche sur la réglette mobile la hauteur de bois d'œuvre mesurée, et, immédiatement au-dessus de cette hauteur, on trouve le cube en grume cherché. Exemple : soient 1* m.*40 la circonférence de l'arbre et 12 mètres sa hauteur. En opérant comme il est indiqué ci-dessus* (fig. 6), *on voit que la hauteur donnée par la réglette tombe après la division 1.80 de la partie supé-*

(1) *Notice sur la règle à cubage des arbres*, par M. de Montrichard. Paris, Imprimerie Nationale, 1878.

rieure de la règle, à 1.87 environ ; et en effet le cube cherché est 1.871. Si l'on veut le cube au $\frac{1}{4}$ sans déduction, au $\frac{1}{6}$, au $\frac{1}{5}$ déduit, on substitue au trait grume *celui qui porte l'indication du mode de cubage voulu, et, tout le reste se faisant comme pour le cubage en grume, on trouve les cubes au $\frac{1}{4}$ sans déduction, au $\frac{1}{6}$, au $\frac{1}{5}$ déduit, à la ligne des* cubes.

La théorie de cette règle est très simple et entièrement semblable, du reste, à celle de la règle à calcul.

La graduation inférieure de la règle, intitulée *Diamètres*, est formée avec les logarithmes de $\frac{100\,\pi}{4}\overline{0.15}^2$ $\frac{100\,\pi}{4}\overline{0.20}^2$, etc.

La graduation voisine, portant les indications :

Circonférences........ 0.4 0.5 0.6 0.7

est formée avec les longueurs logarithmiques de

$$\frac{100}{4\,\pi}\overline{0.4}^2 \quad \frac{100}{4\,\pi}\overline{0.5}^2 \quad \frac{100}{4\,\pi}\overline{0.6}^2 \quad \frac{100}{4\,\pi}\overline{0.7}^2$$

La graduation de la réglette mobile portant les indications :

Arbres abattus, grume, $\frac{1}{4}$ sans déd., $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{5}$ déduit,

est formée avec les logarithmes de

$$\frac{10}{1} \quad \frac{10}{0.785} \quad \frac{10}{0.545} \quad \frac{10}{0.503}$$

La graduation supérieure de la réglette mobile portant :

Hauteur.... 1.5 2 2.5 3 4 5......

est formée avec les longueurs logarithmiques de ces nombres.

La graduation de la règle portant les indications :

Cubes...... 0.15 0.2 0.25 0.3 0.4 0.5....

est formée des mêmes longueurs que la précédente; mais les

nombres écrits sont les dixièmes des nombres correspondant aux longueurs logarithmiques.

Ceci posé, un seul exemple suffira pour faire comprendre le principe de l'instrument :

Supposons qu'on ait à cuber une pièce mesurant 1 m. 40 de circonférence au milieu et 6 mètres de longueur.

On place le trait de la réglette mobile portant l'indication *grume* en prolongement de celui de la graduation *circonférences* de la règle correspondant à 1 m. 40 (voir la figure).

On cherche à la graduation supérieure de la réglette mobile intitulée *hauteurs* la division 6; le nombre inscrit immédiatement au-dessus à la graduation *cubes* de la règle donne le volume cherché, qui est 0.94.

En effet, en opérant ainsi, on a fait mécaniquement l'opération suivante.

$$\log.\left(100 \times \frac{\overline{1.40}^2}{4\,\pi}\right) + \log.\ 6 = \log.\ (\text{cube en grume} \times 10)$$

Si l'on avait voulu obtenir le volume au sixième déduit, c'est le trait portant l'indication 1/6 de la réglette que l'on eût mis en coïncidence avec la division 1.40 de la graduation *circonférences* de la règle.

La règle à cubage peut, du reste, être employée à des multiplications et à des divisions, comme la règle à calcul ordinaire, à l'aide de la graduation des *cubes* et de celles des *hauteurs*.

§ 3. — *Instruments de mesurage.*

Dans les formules de cubage des bois en grume interviennent des longueurs, des diamètres, des circonférences et des surfaces de section. Celles-ci se déduisent des diamètres ou des circonférences.

Mesure des longueurs.— Les longueurs des pièces à mesurer se déterminent soit au moyen de *rubans*, soit au moyen de *règles*.

Les rubans sont en toile, en cuir, ou en métal.

Les rubans en toile ou en cuir ont l'inconvénient de varier beaucoup de longueur lorsqu'ils sont mouillés; ils doivent être rejetés de l'emploi en forêt. On en fabrique dont la chaîne est en laiton et la trame en fil; ces rubans, connus dans le commerce sous le nom de rubans anglais, sont d'un bon usage en dendrométrie. Les rubans en métal sont ou bien des rubans d'acier comme ceux qu'utilisent les arpenteurs ou bien des chaînettes en acier; ils donnent de bons résultats quand les pièces sont longues et bien droites. Dans le cas de pièces de faible longueur et un peu courbes il est plus pratique de se servir de la règle des marchands de bois. Cet instrument, bien connu (fig. 7), se compose d'une règle en bois, analogue à celle



Fig. 7. — La règle des marchands de bois.

des compas forestiers, d'un mètre de long, divisée en centimètres. Aux deux extrémités se trouvent adaptées deux pointes en acier qui en rendent le maniement plus commode en permettant de l'utiliser comme les dessinateurs font d'un compas à pointe sèche.

Mesure des diamètres.—Les diamètres des arbres se mesurent au moyen de *compas forestiers,* instruments entièrement analogues à ceux employés par les constructeurs pour mesurer le diamètre des pièces cylindriques.

Un compas forestier se compose d'une règle, de section rectangulaire, mesurant environ un centimètre d'épaisseur sur 6 ou 7 centimètres de largeur et une longueur de 1 m. à 1 m. 20. A l'une de ses extrémités, elle est assemblée à angle droit dans une pièce ou bras d'épaisseur plus grande et dont la longueur est moitié de celle de la règle. Un second bras, semblable au premier, est traversé d'une mortaise qui permet de le faire glisser, parallèlement au premier, tout le long de la règle.

La règle se fait en noyer, poirier, buis, etc.; les bras en éra-

ble, hêtre, etc., en tout cas en bois parfaitement sec pour éviter toute déformation. Elle porte une graduation dont l'origine est au point où elle sort du bras fixe dans lequel elle est assemblée.

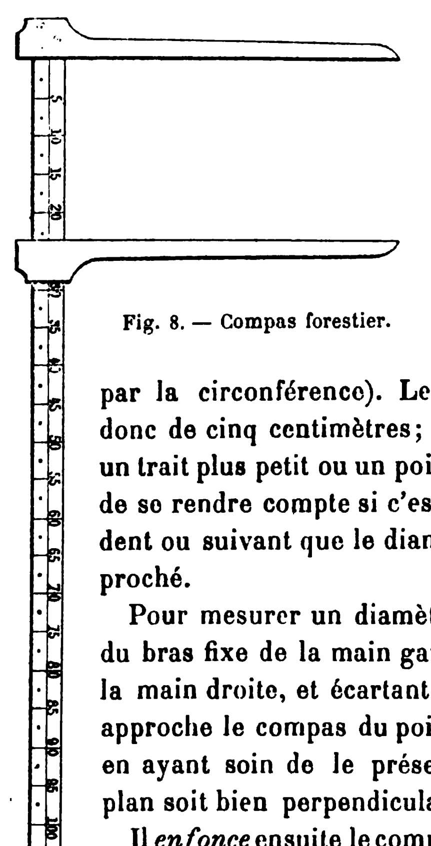


Fig. 8. — Compas forestier.

En France, les diamètres se mesurent, dans la pratique, en fractions de cinq centimètres pour les arbres sur pied cubés en grand nombre à la fois (les tiges abattues se cubent toujours par la circonférence). Les divisions de la règle sont donc de cinq centimètres; au milieu de chaque division un trait plus petit ou un point est tracé afin de permettre de se rendre compte si c'est du multiple de cinq précédent ou suivant que le diamètre mesuré est le plus rapproché.

Pour mesurer un diamètre l'opérateur saisit le talon du bras fixe de la main gauche, celui du bras mobile de la main droite, et écartant ce bras mobile de l'autre il approche le compas du point où doit se faire la mesure en ayant soin de le présenter de façon à ce que son plan soit bien perpendiculaire à l'axe de la tige.

Il *enfonce* ensuite le compas, c'est-à-dire qu'il l'avance jusqu'à ce que la règle et le bras fixe soient en contact avec la tige; il approche enfin le bras mobile et fait la lecture. Au cas de la figure ci-contre on voit que la dernière division découverte est 20; comme le point intermédiaire entre 20 et 25 est visible, il en résulte que le diamètre est plus voisin de 25 que de 20, on le compte par conséquent pour 25.

On facilite quelque peu les lectures en modifiant comme suit le talon de la règle mobile (fig. 9). On entaille au ciseau la partie AB sur un centimètre ou deux dans le sens AC de façon à découvrir la partie antérieure engagée de la règle. On rem-

place l'arête AB par une petite lame d'acier ou de tôle. Ce perfectionnement permet de lire plus facilement les chiffres intéressants qui ne sont pas noyés ainsi dans le talon.

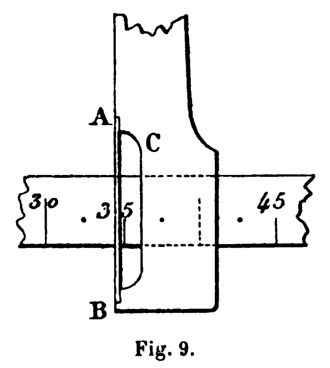


Fig. 9.

Pour éviter que le frottement du bras mobile n'efface les divisions de la règle, on imprime celles-ci en creux au moyen d'une matrice à chaud ou à froid. Il est avantageux de pratiquer dans la règle une feuillure de 2 ou 3 millimètres de profondeur (fig. 10) au fond de laquelle on grave les lignes de division qui sont ainsi soustraites à tout frottement.

Les principales conditions d'exactitude du compas forestier sont les suivantes :

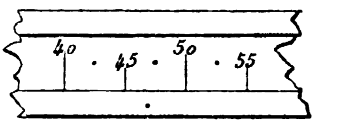


Fig. 10.

1° La règle doit être parfaitement droite et d'équerre sur le bras fixe;

2° Le bras mobile, dans son mouvement, doit toujours rester parallèle au bras fixe, ou, ce qui revient au même, perpendiculaire à la règle;

3° Les deux bras et la règle doivent être constamment dans un même plan, c'est-à-dire que la règle doit être bien plane, sans torsion.

Pour avoir des règles bien planes et droites on a soin, comme nous l'avons recommandé, d'employer des bois tels que le noyer, les fruitiers (pomacées), le buis, etc., que les constructeurs ont l'habitude d'utiliser pour la confection des règles, équerres et mesures linéaires en bois. Le choix du bois employé pour la confection de la règle est essentiel : il doit être exempt de nœuds, de défauts de texture quelconques, de fibre parfaitement droite, etc. Les compas sont employés au dehors, par l'humidité, la pluie,

la neige ou la chaleur et la sécheresse de sorte qu'il en résulte facilement des flexions ou torsions de la règle si ces conditions ne sont pas exactement remplies. Quelque soin qu'on ait apporté à leur construction les compas forestiers se trouvent toujours hors de service au bout d'un temps relativement court.

On a cherché à remédier à cet inconvénient en construisant les règles en métal. L'acier, trop oxydable, ne convient guère; on emploie de préférence le laiton, qui a l'inconvénient, sur de grandes longueurs, de manquer de rigidité, d'être flexible. Les instruments de ce métal sont à la fois trop peu solides et surtout trop lourds (1). On a proposé aussi récemment (2) l'emploi du *magnalium*, alliage formé de 100 parties d'aluminium et de 10 à 15 parties de magnésium, et qui est plus facile à travailler que l'aluminium pur. Quoique sensiblement plus lourd que l'aluminium, il permet de construire des compas à peu près aussi légers que ceux en bois. Enfin tous les compas métalliques sont fort chers, coûtant cinq à vingt fois autant que ceux en bois, sans que cette différence de prix soit compensée, à beaucoup près, par des avantages suffisants. Il est, à tous les points de vue, préférable d'employer des instruments en bois, sauf à les renouveler à mesure qu'ils deviennent inutilisables.

Une condition très difficile à réaliser en pratique est celle du *maintien de la perpendicularité du bras mobile et de la règle*.

Le principal obstacle provient de ce que les dimensions de la règle, lorsqu'elle est en bois, varient suivant l'état hygrométrique de l'air et de ce que le frottement sur bois humide est extrêmement dur. Il en résulte qu'on est forcé de donner à la mortaise creusée dans le talon du bras mobile un certain jeu qui assure le fonctionnement de l'appareil même sous la pluie. Ce jeu est encore augmenté par l'usure assez rapide du bois de sorte que le bras mobile finit par pouvoir s'incliner avec un angle plus

(1) Un compas ne doit pas peser plus de 700 gr. à 1 kilog. au maximum, autrement son emploi devient trop pénible pour l'homme qui doit le maintenir horizontal en le tenant en porte à faux, à la force du poignet seulement.

(2) Voir un article de M. Böhmerlé dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, 1900, livraisons 8 et 9.

ou moins fort sur la règle. Il est facile de se rendre compte qu'il résulte de là une erreur systématique de mesurage qui est au détriment du vendeur (fig. 11). Cette erreur est encore beau-

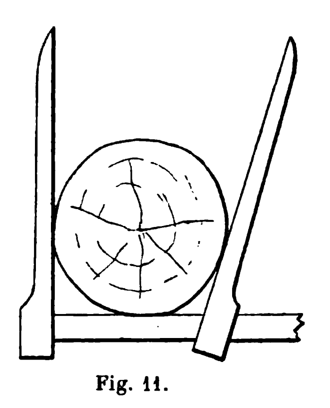


Fig. 11.

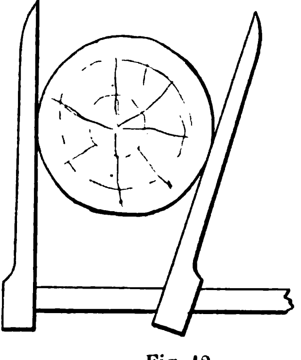


Fig. 12.

coup exagérée si l'on néglige d'enfoncer le compas à fond, et se contente de mesurer *avec le bec* des deux bras (fig. 12).

Pour remédier à cet inconvénient, une foule de dispositions plus ou moins ingénieuses ont été proposées. Nous nous contenterons d'en mentionner deux.

Un simple coup d'œil sur la figure 13 ci-contre, qui donne une coupe perpendiculaire à la règle A dans le talon D du bras mobile, fait voir le mécanisme du compas que construit M. Staudinger, constructeur à Giessen (Hesse). Le coin métallique B se déplaçant sous l'action de la vis à tête engagée C, que l'on fait tourner avec une clef, permet de serrer plus ou moins la règle A contre la paroi *ab* de la mortaise creusée dans le talon du bras mobile D. On peut ainsi remédier à l'inconvénient de l'usure et de la dilatation. Le compas de M. Staudinger passe pour être d'un bon usage (1).

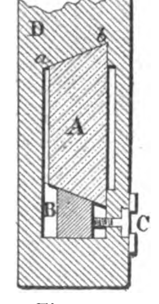


Fig. 13.

Un dispositif beaucoup plus simple, plus pratique, et qui mé-

(1) V. Baur, *Holzmesskunde*, 4e édition, page 11.

riterait d'être plus généralement adopté, est celui connu parmi les forestiers français sous le nom de son inventeur, le brigadier forestier Poncet (1). Voici en quoi il consiste. La mortaise du bras mobile a la forme représentée par la figure 14 qui donne une coupe du talon de ce bras par un plan parallèle à celui de l'instrument. La distance entre les deux lignes *bc* et *b'c'*, parallèles entre elles et obliques sur l'arête AB du bras mobile est légèrement supérieure à la hauteur *h* de la règle, de sorte que lorsque le bras est incliné, comme le représente la figure, le mouvement de va et vient est très facile. Les lignes *ab* et *a'b'*, au contraire, sont à une distance rigoureusement égale à *h*, et perpendiculaires à l'arête AB. On voit que si l'extrémité A du bras vient à être arrêtée contre une tige d'arbre et qu'on continue le mouvement du talon le bras mobile s'arrêtera de lui-même dans une position rigoureusement perpendiculaire à la règle. Ce compas présente les avantages suivants : il est solide, d'un emploi commode, et surtout peut être confectionné par n'importe quel menuisier de village ; rien de plus facile du reste que de transformer un compas à mortaise droite en compas Poncet.

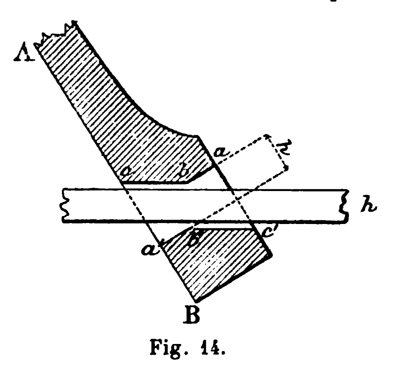


Fig. 14.

On a imaginé un très grand nombre de compas forestiers de systèmes différents de celui qui vient d'être décrit. Bien qu'aucun d'eux n'ait pu, jusqu'à présent, s'introduire dans la pratique, nous donnerons ci-après le principe d'un certain nombre de ces instruments, ne fût-ce que pour éviter la réapparition de types condamnés par l'expérience.

On peut former un compas dont les deux bras sont fixes et assemblés aux extrémités de deux règles superposées qui glissent

(1) *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1888, pages 248 et suiv.

l'une sur l'autre. Ce système a l'avantage de réduire à moitié la longueur de l'instrument, mais il est peu solide et le glissement des deux règles l'une sur l'autre est très difficile lorsque le bois est humide.

Un forestier danois, M. Lütken, a imaginé un compas basé sur le principe suivant :

Soient (fig. 15) deux tiges métalliques de longueurs égales, AB', A' B, articulées en leur milieu O. Si l'on fait varier l'angle en O les lignes AB, A'B' s'écartent ou se rapprochent tout en restant parallèles. Si nous supposons en B et B' des anneaux par lesquels passeront des tiges articulées en A et A' ces tiges pourront évidemment jouer le rôle des bras d'un compas forestier. L'écartement *d* des deux parallèles étant fonction de la longueur AB, une graduation tracée sur AB à partir de A permettra de lire directement la grandeur *d*.

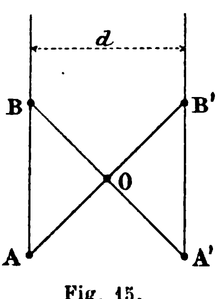


Fig. 15.

Les instruments que l'on a construits sur ce principe (en Autriche surtout) ont présenté les inconvénients suivants : établi en métal, le compas est fort lourd, et d'autant plus pénible à manier que son centre de gravité est nécessairement éloigné des points A et A' par lesquels doit le maintenir l'opérateur. De plus les divisions tracées sur AB sont difficiles à lire à cause de leur distance à l'œil de l'opérateur, qui doit faire la lecture pendant que l'instrument est en position. Cet inconvénient est surtout sensible pour les petits diamètres; les divisions sont alors à la fois très petites (elles varient comme le cosinus d'un angle dont le sinus, égal au rayon de l'arbre à mesurer, varierait d'une quantité constante) et très éloignées de l'œil. On a remédié à cet inconvénient en adaptant en A une règle qui peut se disposer perpendiculairement à AB, sur laquelle sont tracées les divisions et qui peut, lorsqu'on n'utilise pas le compas, s'enlever ou se rabattre sur AB.

Enfin ces instruments, sans être plus précis que d'autres, sont très coûteux et encombrants.

De même qu'on utilise pour la mesure des diamètres des arbres une adaptation du compas d'épaisseur des constructeurs, on a voulu y adapter aussi le compas sphérique. La première idée de cet instrument remonte, nous l'avons vu, à Varenne de Fenille, qui décrit son « compas courbe à mesurer les arbres » dans un mémoire de 1790 et en donne même une gravure que nous reproduisons ici (fig. 16). Un forestier allemand, nommé Kielman, proposa, vers 1840, un instrument à peu près identique, mais c'est surtout Pressler, qui avait eu connaissance du compas de Kielman (il ne fait aucune mention du nom de Varenne) qui contribua à le répandre dans une partie de l'Allemagne. Il le déclarait nettement supérieur à tous les autres. En réalité, le compas que les Allemands appellent de Pressler, et auquel nous restituerons le nom de son premier inventeur, Varenne de Fenille, ne méritait guère de survivre. Il est lourd, incommode à manier, et donne, comme il est facile de le comprendre, des résultats systématiquement trop petits, l'opérateur étant toujours exposé à mesurer une corde au lieu d'un diamètre. Cet instrument se prête mieux que les compas ordinaires au mesurage du diamètre des arbres abattus ; il ne présente pas, pour cet emploi spécial, les inconvénients qu'on examinera plus loin. Il est aussi moins fatigant à manier pour cet usage que pour la mesure des arbres debout parce que l'opérateur n'est plus obligé

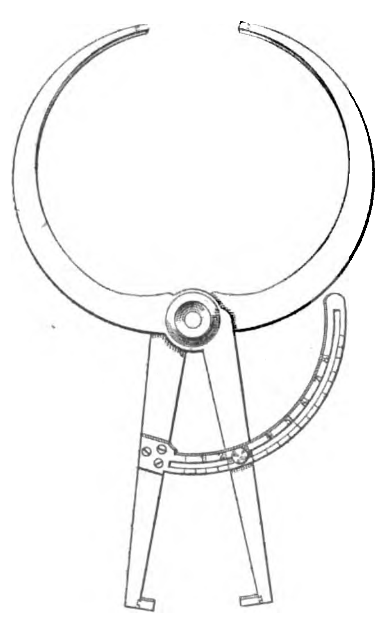


Fig. 16. — Compas courbe de Varenne de Fenille.

de le maintenir horizontal. C'est sans doute grâce à cette circonstance qu'il est encore recommandé par certains forestiers.

Mesure des circonférences. — La circonférence des arbres abattus se mesure très simplement avec la *ficelle* des marchands de bois. Ce petit instrument se compose d'une aiguille courbe en acier de 60 centimètres environ de longueur terminée par un anneau dans lequel passe une ficelle de 2 m. 50 à 3 m. de longueur terminée par un nœud. Pour mesurer la circonférence, on passe l'aiguille entre l'arbre gisant et le sol, on la tire pour faire suivre la ficelle, on amène le nœud à la partie supérieure du tronc, on l'y maintient de la main droite tandis qu'entre le pouce et l'index de la main gauche on saisit le point de la ficelle qui vient se placer en face du nœud après avoir fait le tour de la tige. Abandonnant alors le nœud, on tire la ficelle en arrière de la main gauche sans changer la position des deux doigts qui la maintiennent et on mesure, sur une règle divisée, la distance du nœud au point où l'on tient la ficelle. Ce système, aussi rapide que simple, est universellement employé en France pour le cubage des arbres abattus. On verra plus loin ses inconvénients.

§ 4. — *Les erreurs de mesurage.*

Erreurs sur la mesure des longueurs. — Lorsqu'on emploie un ruban à mesurer la longueur d'une pièce qui n'est pas parfaitement droite, on s'expose à mesurer la flèche de la courbe au lieu de la véritable longueur; *on commet ainsi une erreur en moins au détriment du vendeur.*

L'emploi de la règle à pointes, au contraire, est de nature à donner des longueurs trop fortes parce que les positions successives de la règle n'étant pas exactement dans le prolongement l'une de l'autre on mesure une ligne brisée entre les deux sections extrêmes de la pièce. Cette erreur serait donc en plus, *ou en faveur du vendeur.* On la réduit en employant des lattes de 2 m. ou de 4 m. à la mesure des pièces un peu longues.

En réalité, ces erreurs sur la longueur sont toujours très faibles pour peu qu'on opère avec quelque attention et il y a d'autant moins à s'en inquiéter dans la pratique qu'il ne peut s'agir que de différences de quelques centimètres, ou d'un petit nombre de décimètres dans les cas les plus défavorables, insignifiantes à côté des grandeurs mesurées. La longueur n'entre du reste qu'à la première puissance dans l'expression du volume, tandis que la circonférence ou le diamètre, qui y figurent au carré, sont bien plus importants à mesurer exactement.

Degré de précision de la mesure des sections transversales. — La surface des sections se déduit, au moyen de tables spéciales, soit du diamètre soit de la circonférence.

Si les sections étaient rigoureusement circulaires, il serait théoriquement indifférent de mesurer le diamètre ou la circonférence ; en pratique cette dernière mesure serait préférable au point de vue de la précision puisque les erreurs absolues de mesurage sont divisées, dans le calcul des surfaces, par un facteur environ trois fois plus grand. L'erreur relative résultant, sur le calcul de la surface du cercle, d'une erreur d'un centimètre dans la mesure de la circonférence est trois fois moindre que celle qui résulte d'une erreur d'un centimètre dans la mesure du diamètre (1).

En fait les sections ne sont pas rigoureusement circulaires. Il en résulte que *l'emploi de la circonférence donne une erreur systématique en trop*, parce que le cercle est, de toutes les surfaces de même périmètre, la plus grande. Cette erreur peut être relativement assez forte quand les arbres sont *méplats ;* en revanche on connaît le sens dans lequel elle se produit. Les mar-

(1) Lorsqu'une erreur absolue α a été commise sur la mesure de la circonférence C d'un cercle l'erreur relative sur la détermination de la circonférence est $\frac{\alpha}{C}$ et celle sur la surface du cercle sera double : $\frac{2\alpha}{C}$. Si cette même erreur α avait été commise sur la mesure du diamètre D du cercle, les erreurs relatives seraient $\frac{\alpha}{D}$ pour le diamètre et $\frac{2\alpha}{D}$ pour le cercle, c'est-à-dire environ trois fois plus fortes.

chands de bois, qui savent très bien à quoi s'en tenir à cet égard, disent que la ficelle « *force le volume* ». En dehors de cette cause d'erreur systématique les erreurs accidentelles peuvent être assez nombreuses, elles agissent dans le même sens. Lorsqu'on cube des tiges gisant sur le sol, et que leur poids y a fait pénétrer plus ou moins profondément, on s'expose à envelopper avec la ficelle des nœuds, des branches, des broussins, bourrelets de gelivure, etc., cachés entre le sol et la grume. Souvent aussi des paquets de mousse, tiges de lierre, des pierres incrustées dans l'écorce lors de la chute de l'arbre entraînent des erreurs accidentelles qui sont toutes, comme on le voit, au préjudice de l'acheteur. Enfin l'emploi de la ficelle est moins commode et moins rapide que celui du compas.

Malgré ces inconvénients l'emploi de la ficelle est préférable à celui du compas pour le cubage des arbres abattus, et voici pourquoi :

Lorsqu'un arbre est gisant on ne peut mesurer commodément avec le compas qu'un seul diamètre, celui qui est parallèle au sol. Le diamètre vertical est souvent impossible à déterminer à cause de la difficulté d'engager le bras fixe de l'instrument entre le sol et l'arbre, celui-ci s'y trouvant, dans la plupart des cas, assez profondément enfoncé.

Or pour peu qu'un arbre soit méplat il tombera toujours à plat ou roulera, après le tronçonnage, de façon à ce que le plus grand diamètre soit parallèle au sol. C'est donc toujours le diamètre maximum qu'on mesurera, et il en résultera une erreur beaucoup plus grande que celle qui provient de l'emploi de la circonférence. Il est facile de s'en rendre compte, au moins dans l'hypothèse où la section de l'arbre aurait une forme elliptique.

Soit 2 l le contour d'une ellipse dont les axes sont $2a$ et $2b$. On a :

$$l = \pi a \left\{ 1 - \left(\frac{1}{2} e\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{1.3}{2.4} e^2\right)^2 - \frac{1}{5}\left(\frac{1.3.5}{2.4.6} e^3\right)^2 - \ldots \right\}$$



formule dans laquelle e est l'excentricité de l'ellipse, c'est-à-dire le rapport de la distance des foyers à la longueur du grand axe.

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \text{ ou } \frac{\sqrt{(a+b)(a-b)}}{a}$$

Il est impossible, comme on sait, de sommer la série ci-dessus. Mais les termes en diminuent rapidement lorsque e est petit, ce qui est le cas habituel pour les arbres méplats que l'on rencontre en forêt. On peut donc, en s'en tenant aux premiers termes, calculer approximativement la valeur de $2\,l$. Si nous supposons $2b = 100$,

nous aurons pour	$2a = 101$	$2l$ (circonférence)	$= 3.157$
et pour	$2a = 105$	—	$= 3.221$
—	$2a = 110$	—	$= 3.300$
—	$2a = 120$	—	$= 3.463$

etc.

Cela posé supposons que nous ayons à mesurer la surface d'une section elliptique dont les axes auraient une longueur de 10 et 12 centimètres.

La circonférence mesurée à la ficelle serait, d'après le tableau ci-dessus, approximativement de 34.63 centimètres.

La surface du cercle isopérimètre que l'emploi de la ficelle substitue à celle de l'ellipse serait, en centimètres carrés,

$$s = 95.43$$

La surface vraie de l'ellipse étant

$$\pi\, ab = 3.14159 \times 5 \times 6 = 94.25$$

l'erreur résultant du mesurage à la ficelle sera donc de 1.18 cent. carré en trop, ce qui correspond à une erreur relative sur le volume de 1.2 0/0 environ.

Si, au lieu de cuber à la ficelle, on avait employé le compas on aurait :

1° En mesurant le diamètre *maximum*, $2a = 12$, ce que l'on

fera généralement, comme on l'a montré plus haut, lorsqu'il s'agit d'effectuer la mesure sur des pièces gisant à terre

$$s' = \pi \frac{12^2}{4} = 113.10 \text{ centim. carrés}$$

c'est une erreur en trop de 20 0/0 du volume vrai;

2° En mesurant le diamètre *minimum* $2b = 10$

$$s'' = \pi \frac{10^2}{4} = 78.54 \text{ centim. carrés}$$

ce qui correspond à une erreur en moins de 16.6 0/0 du volume vrai;

3° En mesurant un diamètre *moyen*, c'est-à-dire égal à

$$\frac{2a + 2b}{2} = 11,$$

$$s''' = \pi \frac{11^2}{4} = 95.03 \text{ centim. carrés}$$

ce qui correspond à une erreur en trop de 0.8 0/0 du volume vrai.

On verrait de même que si les deux axes de la section elliptique étaient 11 et 10 centimètres, l'erreur en trop, provenant du cubage à la ficelle, serait de 0.3 0/0 du volume vrai;

Que celle, en trop, du cubage par le diamètre maximum serait de 9.9 0/0 de ce volume;

Que celle, en moins, du cubage par le diamètre minimum serait 9.2 0/0 de ce volume;

Et enfin que l'emploi du diamètre *moyen* (1) donnerait une erreur relative en trop de 0.2 0/0.

(1) L'erreur résultant de la méthode du diamètre moyen est égale, dans le cas d'une section elliptique, à la surface d'un cercle dont le diamètre serait égal à $a-b$; elle est donc proportionnelle au carré de cette différence. En effet, la surface du cercle de diamètre $a+b$ est $\frac{\pi}{4}(a+b)^2$; celle de l'ellipse de diamètres $2a$ et $2b$ est πab, la différence est $\frac{\pi}{4}(a^2+b^2+2ab-4ab) = \frac{\pi}{4}(a-b)^2$.

Ce qui précède nous amène aux conclusions suivantes:

1° *Lorsqu'il s'agit de mesurer des arbres méplats (supposés de section elliptique) la méthode la plus précise consiste à mesurer les diamètres maximum et minimum, à en prendre la moyenne arithmétique, et à assimiler la section à un cercle dont le diamètre serait égal à cette moyenne. L'erreur, dans les limites de forme que l'on rencontre dans la nature, ne dépasse guère un pour cent, en plus, et est habituellement beaucoup moindre ;*

2° *Lorsqu'on emploie la ficelle au cubage d'arbres méplats, l'erreur est, pratiquement, la même que par le procédé précédent quoique cependant légèrement plus forte, dans le même sens, sans cesser d'être tolérable ;*

3° *L'erreur relative en trop commise en mesurant un diamètre unique, qui dans la pratique se rapprochera toujours du diamètre maximum, peut être jusqu'à vingt ou trente fois plus grande que dans les autres procédés et peut cesser, par conséquent, d'être tolérable.*

Aux considérations ci-dessus s'ajoute encore la suivante. Lorsqu'on mesure, avec le compas, le diamètre d'arbres gisants sur le sol il est impossible d'enfoncer toujours l'instrument à fond, ce qui entraîne une erreur en sens inverse de la précédente, surtout lorsqu'on opère sur des arbres de petite dimension. La mesure des diamètres peut donc entraîner deux erreurs systématiques ; l'une en trop provenant de la forme non circulaire des sections, l'autre en trop peu provenant des imperfections du compas. Il est certain cependant que, lorsque le compas est en bon état et de dimensions proportionnées à celles des arbres à mesurer, cette dernière cause d'erreur est très faible et c'est la première qui l'emporte.

C'est pour ce genre de cubages que les instruments analogues au compas de Varenne-Fenille (voir page 50) présentent tous leurs avantages. On peut, avec eux, mesurer plusieurs diamètres même sur les arbres abattus, de sorte que l'exactitude de la détermination est notablement augmentée.

En somme il est certain que *lorsqu'on ne peut mesurer qu'un seul diamètre et que la direction de ce diamètre est imposée (comme c'est plus ou moins le cas lors du cubage des arbres abattus) la mesure des circonférences est habituellement préférable* quoiqu'elle soit moins commode et moins rapide à effectuer; c'est ainsi que se trouve justifiée la méthode suivie en France de temps immémorial qui consiste à cuber les grumes gisant sur le sol en fonction de leur circonférence. Cette méthode donne des résultats supérieurs, dans le cas de sections méplates, à la mesure d'un diamètre unique, et équivalents à ceux que fournit la mesure de deux diamètres perpendiculaires. Elle présente sur cette dernière l'avantage d'être plus expéditive, plus facile, et de se faire avec une erreur de mesure moindre.

Il faut toutefois reconnaître que, pour le cubage de résineux, dont la section est presque toujours très voisine de la forme circulaire, le cubage au diamètre a moins d'inconvénient. C'est peut-être pour cela qu'il est plus généralement répandu dans l'Allemagne, et surtout dans l'Allemagne du Nord, tandis qu'en France le cubage à la circonférence est le plus souvent employé pour les arbres feuillus, bien qu'il soit moins rapide.

Nous avons vu plus haut qu'en France les diamètres s'expriment généralement en multiples de cinq centimètres (1) en forçant ou en abandonnant les différences suivant qu'elles sont supérieures ou inférieures à 25 millimètres. Cela revient à mesurer le diamètre à 25 millimètres près. Y a-t-il un intérêt réel à mesurer avec une unité plus petite comme on le fait souvent à l'étranger ?

Pour répondre à cette question, il faut songer que le cubage des grumes même par les procédés les plus minutieux est toujours aléatoire et approximatif. Deux cubages successifs d'une même pièce donneront toujours, lorsque les mesures ne sont pas faites exactement aux mêmes points (en somme plus ou

(1) Dans certaines régions les compas sont gradués de 4 en 4 centimètres.

moins arbitrairement choisis), des résultats différents entre eux de 5 à 10 0/0 ou même davantage, suivant la longueur des billons, le diamètre des bois, leur régularité de forme, etc. Du moment que le procédé de cubage d'un arbre considéré isolément est approximatif, il est bien illusoire et inutile de poursuivre une exactitude minutieuse dans la mesure des grandeurs à introduire dans les calculs. Sur un cercle de 60 centimètres de diamètre une erreur de 25 millimètres dans la détermination du diamètre correspond à une erreur relative de 4,2 0/0 dans la mesure du diamètre et de 8,4 0/0 dans celle de la section, et par conséquent du volume. Cette erreur est évidemment trop grande pour pouvoir être tolérée, puisqu'elle est peut-être supérieure à l'erreur inévitable tenant à l'imperfection des méthodes dendrométriques (1). A plus forte raison en serait-il ainsi, s'il s'agissait d'arbres plus petits. Dans le cas d'un cercle de 25 centimètres de diamètre l'erreur relative sur la surface résultant de la mesure du diamètre à 25 millimètres près peut atteindre un cinquième.

Des compas gradués de 50 en 50 millim., permettant de déterminer le diamètre à 25 millimètres près, *se prêteraient donc fort mal au cubage précis d'un petit nombre d'arbres à la fois*, ce qui est le cas habituel, lors du cubage des arbres abattus dans une coupe. *Aussi n'est-ce pas pour cet emploi qu'on les construit en France, mais bien en vue du cubage simultané, en bloc, d'un grand nombre d'arbres*, comme on le verra plus loin.

Lorsqu'il s'agit de cuber une ou un petit nombre de pièces, il faut, ou bien mesurer la circonférence, ou bien graduer les compas en doubles centimètres, ce qui permet de mesurer à un centimètre près. A la rigueur, s'il s'agit de petits arbres de formes très régulières il peut y avoir intérêt à graduer les règles en centimètres de façon à déterminer les diamètres à cinq mil-

(1) Il ne faut pas oublier qu'il s'agit ici du cubage d'*une* pièce considérée isolément. On traitera plus loin le cas du cubage simultané d'un grand nombre de pièces qui est entièrement différent.

limètres près, mais cette précision est illusoire le plus souvent et *toute recherche d'une précision plus grande le serait certainement dans le cas du cubage des pièces en grume* (1).

La mesure des circonférences s'effectue généralement en nombre pair de centimètres, c'est-à-dire à un centimètre près, ce qui est plus que suffisant dans tous les cas; la mesure de 5 en 5 (à 25 millimètres près, soit à 7 ou 8 millimètres près pour le diamètre) est même très généralement suffisante. Dans le commerce on se contente souvent de mesurer les circonférences en décimètres entiers (à cinq centimètres près) (2) ou même parfois en nombre pair de décimètres (à dix centimètres près). Dans ce dernier cas, le diamètre est déterminé à trois centimètres près environ, ce qui correspond à une erreur relative *maxima* sur la surface de 8 à 10 0/0 dans le cas d'un cercle de 60 centimètres de diamètre. Cette erreur peut être considérée comme tolérable dans le commerce où l'on ne cube qu'en vue d'une estimation en argent; elle ne le serait plus dans des cubages ayant en vue une détermination aussi précise que possible du volume.

ART. 2. — CUBAGE DES BOIS EMPILÉS, DES FAGOTS ET DES ÉCORCES

§ 1er. — *Bois de feu et petits bois d'œuvre.*

Les parties des arbres qui ne sont pas laissées en grumes sont ou bien des petits bois d'œuvre, tels que ceux destinés à la fabrication des pâtes à papier, au débit en échalas, etc., ou bien des bois de chauffage. Ces derniers comprennent le bois

(1) On verra, à propos des analyses de tige, que l'étude des lois de l'accroissement peut obliger, *dans des cas spéciaux*, à une précision plus grande lorsqu'on veut, par exemple, déterminer l'accroissement diamétral ou transversal de jeunes arbres. De pareilles études rentrent dans un tout autre ordre d'idées que celui qui nous occupe ici.

(2) C'est la façon de procéder prescrite par les instructions administratives pour le cubage des bois de marine.

de corde (quartier et rondin) la charbonnette, les fagots et les souches. Les petits bois d'œuvre sont empilés en bûches comme les bois de corde.

Modes de débit des bois de feu. — Le *bois de corde* est débité en pièces dont la longueur varie, en France, du simple au triple suivant les provinces (1). On y comprend des bois à partir de deux décimètres de tour et au-dessus. Les pièces de plus de 40 à 45 centim. de tour sont refendues en *quartiers*, les autres constituent le *rondin*. La *charbonnette* est du menu bois destiné à la carbonisation; on la débite ordinairement en longueurs plus faibles que le bois de corde et on y comprend des brins jusqu'à 5 ou 6 centimètres de tour. Les *fagots* sont des faisceaux de menus bois dont la longueur varie de 1 m. à 1m.40 et la circonférence de 0 m.80 à 1 m.33. Ils sont liés par une ou deux *harts* en bois ou en fil de fer. Les *bourrées* sont des fagots de brindilles; elles sont confectionnées avec ce qui reste de menus bois après qu'on a fabriqué de la charbonnette. Cette catégorie de marchandises est habituellement sans valeur sur pied en forêt. Il en est de même des souches, qui ne sont généralement pas récoltées. Lorsqu'on les extrait on les empile comme les bois de corde.

Les bois empilés et les menus bois ne peuvent plus se cuber, comme les grumes, au moyen de l'application de formules dendrométriques. On recourt alors, pour déterminer leur volume, aux procédés suivants qui peuvent se classer en deux catégories :

1° Procédés par immersion donnant directement le volume;

2° Procédés par pesées donnant indirectement le volume par l'intermédiaire de la densité.

(1) Il est assurément déplorable qu'en France, pays d'origine du système métrique, les unités de mesure prescrites par ce système, adoptées aujourd'hui dans presque tout le monde civilisé, n'aient pas encore pris partout la place des anciennes mesures locales. Celles-ci sont maintenues énergiquement par l'esprit de routine et aussi par la mauvaise volonté de certains commerçants qui croient utile à leurs intérêts de maintenir de la complication dans les unités commerciales.

Les premiers sont plus exacts, les seconds plus expéditifs.

1° Procédés par immersion pour le cubage des bois empilés et des fagots. — Les instruments employés pour cuber les bois par immersion ont reçu le nom de *xylomètres*. On en a inventé un assez grand nombre de types différents; il suffira d'en décrire deux : le premier parce qu'il est facile de le réaliser partout, même dans une maison forestière isolée, le second parce qu'il a été adopté par la Station de recherches de Nancy, qui en a emprunté le principe à la station bavaroise.

Le xylomètre le plus simple consiste en un récipient cylindrique, ouvert dans le haut, et dont la paroi est percée à sa partie supérieure d'une ouverture A (fig. 17). On remplit ce récipient d'eau jusqu'à ce qu'elle affleure à l'ouverture, puis on y plonge la pièce à cuber en ayant soin de l'y maintenir complètement immergée. On recueille l'eau qui s'échappe par l'ouverture au moyen d'un ajutage et on mesure le volume de cette eau qui est évidemment égal à celui de la pièce immergée. On peut aussi, ce qui est plus expéditif, peser l'eau recueillie; le poids de cette eau en kilogrammes exprime le volume de la pièce en décimètres cubes. Cet appareil peut être construit sans aucuns frais avec un tonneau, un bouchon et un tube de verre coudé servant d'ajutage. Il rend des services précieux aux agents forestiers aménagistes qui ne peuvent s'encombrer d'un matériel spécial.

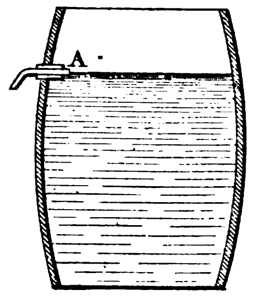


Fig. 17.

Le *xylomètre de la Station de recherches de Nancy* (fig. 18) se compose d'un cylindre en métal, de 1 m. 30 de hauteur et de 0 m. 50 de diamètre intérieur renforcé par quatre frettes en fer. A sa partie supérieure se trouve un ajutage en cuivre sur lequel se visse à volonté un tube de verre gradué, disposé comme les niveaux d'eau des chaudières à vapeur. L'extrémité libre du

tube passe à frottement doux dans un anneau qui le maintient parallèle à l'axe de l'instrument. Quand on remplit celui-ci d'eau, le liquide s'établit au même niveau dans le cylindre et le tube. Si l'on immerge un corps quelconque le niveau de l'eau s'élève et cette élévation peut évidemment servir à mesurer le volume du corps immergé si l'instrument a bien la forme cylindrique que nous avons admise. On conçoit qu'on puisse tracer des divisions sur le tube de manière que chacune d'elles corresponde à un volume d'un décimètre cube pour le corps immergé.

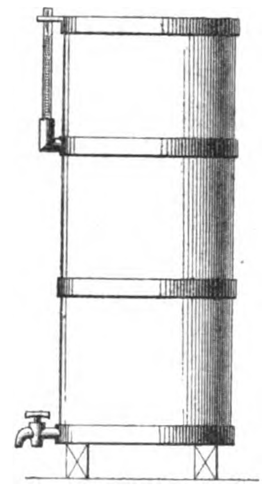


Fig. 18. — Xylomètre de la station de recherches de Nancy.

Le bas du xylomètre est muni d'un robinet qui permet de le vider sans le renverser.

On démontre par un calcul très simple qu'il n'est pas nécessaire que le xylomètre soit rigoureusement vertical pour qu'on puisse opérer; il suffit que le tube soit toujours parallèle à l'axe du cylindre. Cependant il est préférable de poser l'instrument sur des chantiers en bois qui permettent d'assurer sa verticalité approximative et facilitent la manœuvre du robinet de vidange.

Il est recommandé de cuber le plus grand nombre possible d'échantillons à la fois, pour diminuer l'importance relative des erreurs de mesurage et de n'opérer que sur des bois verts, c'est-à-dire saturés d'eau, le bois sec absorbant, même quand on opère rapidement, beaucoup de liquide, ce qui fausse les résultats.

Cet instrument est d'un maniement rapide et très commode ; il n'a que l'inconvénient de coûter assez cher (une centaine de francs environ) et d'être encombrant.

2° **Cubage par pesées.** — Au lieu d'employer directement le

xylomètre au cubage des bois dont on veut connaître le volume, ce qui pourait être fort long, on peut évidemment s'en servir pour déterminer la densité d'un certain nombre d'échantillons. On pèse ceux-ci avant de les immerger, soit p leur poids en kilogrammes, v leur volume en décim. cubes, la densité d sera

$$d = \frac{p}{v} \text{ ou } v = \frac{p}{d}$$

On pèse alors, en bloc, les fagots ou les bûches dont on veut connaître le volume, soit P le poids on a le volume V par la formule.

$$V = \frac{P}{d}$$

De nombreuses déterminations faites à la Station de recherches de Nancy ont montré que *les bois de presque toutes les essences ont*, lorsqu'ils viennent d'être abattus, *une densité très voisine de l'unité* de sorte que, lorsqu'on n'a pas besoin d'une grande précision, un simple peson à ressort, facile à emporter en forêt, permet d'obtenir le poids en kilogrammes, et par suite le volume en décimètres cubes, d'un cent de fagots ou des bûches formant un rôle de bois empilé.

Les Stations de recherches forestières allemandes, dont les résultats ont été coordonnés et publiés par M. v. Baur, attribuent *aux bois verts* les densités suivantes (1).

(1) Ce tableau est emprunté au *Lehrbuch der Holzmesskunde* de M. Müller, page 102. (Leipzig, 1902.)



ESSENCES	DENSITÉS A L'ÉTAT VERT (immédiatement après l'abatage)			
	BOIS DE QUARTIER		Rondin	Ramiers (fagots de menu bois)
	Bois parfait	Aubier		
Epicéa exploité en hiver.....	0.892	0.717	0.881	0.926
Epicéa exploité en été.......	0.703	0.469	0.812	0.795
Sapin exploité en hiver......	»	»	0.937	»
Pin sylvestre id..........	0.950	0.690	0.937	0.869
Pin weymouth id..........	»	»	0.927	»
Mélèze id..........	»	»	0.929	»
Hêtre id..........	0.970	0.878	0.955	0.930
Chêne pédonculé, jeune, exploité en hiver............	0.998	1.144	1.022	»
Charme exploité en hiver....	»	»	1.019	1.045
Frêne commun id.......	0.854	»	»	»
Erable sycomore id.......	1.051	0.933	»	»
Bouleau id.......	0.978	»	»	0.986
Tremble id.......	0.853	0.780	0.853	0.923
Aulne glutineux id.......	0.922	0.779	0.778	0.942

Ces chiffres sont du reste assez variables suivant l'origine des bois, la rapidité de leur croissance, leur âge, etc.

Empilage des bois de corde. — L'unité de volume des bois empilés est le *stère* (1) ; c'est un solide de bois empilés mesurant 1m. de long, 1 m. de large, et 1 m. de haut. Lorsque les bûches ont une longueur différente de 1 m. on donne au *rôle* une hauteur inversement proportionnelle de sorte que le volume d'un rôle est toujours d'un stère par mètre courant de longueur du rôle ou de longueur de couche (2).

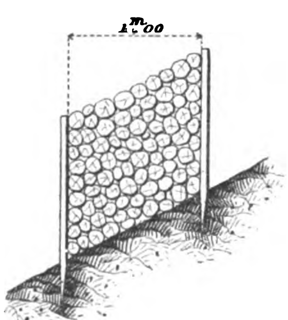


Fig. 19.

En principe le stère doit avoir la forme d'un cube; si la pente oblige à donner la forme d'un parallélogramme à la section du

(1) Loi du 4 juillet 1837 et ordonnance du 16 juin 1839.
(2) En pratique on donne aux rôles cinq ou six centimètres de *surmesure* en hauteur pour tenir compte du tassement par la dessiccation; celui-ci peut atteindre 10 p. 100 pour des bois durs complètement séchés à l'air.

rôle, on a soin de mesurer toujours la longueur de couche horizontalement (fig. 19).

Les petits bois d'œuvre s'empilent en stères comme les bois de feu.

Volume réel ou coefficient d'empilage des bois de corde. Volume du cent de fagots. — Le stère ne donne qu'un volume de bois apparent; il comprend, avec le volume plein, des vides plus ou moins importants.

Le volume plein d'un stère dépend de diverses circonstances dont voici les principales:

1° Plus les bûches sont longues et plus, toutes choses égales d'ailleurs, le volume plein du stère est faible. En effet, les vides résultent surtout de la flèche de courbure des bûches et celle-ci augmente avec leur longueur. Les différences de ce chef peuvent atteindre 12 0/0 environ lorsque les longueurs des bûches varient de 0 m. 50 à 1 m. 50, c'est-à-dire que le volume plein d'un stère de bûches de 1 m. 50 peut être de 12 0/0 inférieur à celui d'un stère de bûches de 0 m. 50. L'influence de la longueur des bûches sur le volume réel est plus grande pour les bois rondins que pour les bois de quartier; elle peut entraîner des différences de 20 0/0 pour des cimeaux de chêne;

2° Les stères de bois de quartier ont un volume supérieur à celui des stères de rondins, et d'autant plus grand que les quartiers sont de plus forte dimension. Entre deux stères de bois de quartier dont l'un renferme deux fois plus de bûches que l'autre, la différence de volume peut atteindre 13 0/0 et devient de 25 0/0 si l'un des stères renferme quatre fois plus de bûches que l'autre. Les marchands de bois le savent très bien et il ne leur est pas difficile, en refendant les bûches après que les bois sont rentrés dans leurs chantiers en ville, de tirer 11 et même 12 stères d'un décastère de bois mesuré en forêt. Les différences de volume du stère suivant le nombre de bûches au stère sont moins grandes pour les rondins que pour les bois de quartier;

3° Théoriquement le diamètre des rondins n'a aucune influence

sur la grandeur du volume plein ; on démontre (1) facilement que si toutes les bûches étaient des cylindres de révolution de même diamètre le volume plein d'un stère serait de 0 mc. 7854 quel que soit ce diamètre. En réalité, l'expérience a montré que les stères de gros rondins ont un volume plein supérieur à ceux formés de rondins plus faibles. De beaux rondins bien droits peuvent parfois même donner un volume plein supérieur à celui de petits quartiers;

4° Le savoir-faire et la tendance du bûcheron qui pratique l'empilage ont une influence sur le volume réel d'un stère de bois. Il faut exiger que les faces planes refendues des pièces demi-rondes soient disposées vers l'extérieur, que les nœuds soient bien arasés sur les bûches, que celles qui sont les plus tortueuses soient réservées pour former l'assise supérieure du rôle, etc., etc.

On appelle *coefficient d'empilage* le nombre, plus petit que l'unité, par lequel il faut multiplier le volume en stères pour obtenir le volume plein ou en mètres cubes.

Voici quelques chiffres d'expériences sur le volume plein des stères de bois ou des cents de fagots.

ESSENCES	VOLUME réel du bois	NOMBRE de stères au mètre cube
Sapin, épicéa, bonne fente, écorce unie..........	0.76	1.31
Sapin, épicéa, fente difficile, écorce raboteuse....	0.62	1.61
Hêtre, écorce très unie, très bonne fente.........	0.77	1.29
Hêtre, écorce raboteuse, fente assez difficile......	0.65	1.54
Hêtre, rondin, écorce assez unie..................	0.60	1.65
Hêtre, rondin de cime, branches courbes.........	0.58	1.72
Chêne, écorce unie, fente facile.................	0.68	1.45
Chêne, écorce raboteuse, fente assez difficile.....	0.61	1.64
Chêne, cimeaux assez droits......................	0.55	1.82
— branches courbes......................	0.46	2.17

Dans le service de l'Ecole nationale forestière, on admet les chiffres suivants pour des bois débités sur 1 m. 14 de longueur.

(1) Soit d le diamètre d'une bûche et soit $nd = 1$ mètre. Le nombre des bûches au stère sera n^2 et leur volume $n^2 \pi \frac{d^2}{4}$ ou $n^2 \pi \frac{1}{4n^2} = \frac{\pi}{4} = 0{,}7854$.

NATURE DES UNITÉS	VOLUME du stère en mètres cubes	NOMBRE de stères au mètre cube
	m. c.	st.
Le stère de bois de quartier.....................	0.66	1.50
Le stère de bois mêlé, quartier et rondin	0.60	1.66
Le stère de rondins de taillis..................	0.57	1.75
Le stère de bois de branches (cimeaux).........	0.45	2.20

L'*Annuaire des Eaux et Forêts* pour 1904 (1) donne le tableau ci-dessous des volumes pleins (ou volumes réels) des bois empilés.

Tableau indiquant le volume réel des bois de feu régulièrement empilés.

DIAMÈTRE des bûches	NOMBRE de bûches par mètre carré de la section transversale	NOMBRE de bûches par stère, la bûche ayant 1 m. 14 de long	VOLUME réel du stère en mètres cubes	VOLUME apparent du mètre cube
m.			stères	m. c.
0.04	317	278	0 389	2.58
0.05	260	228	0.442	2.26
0.09	88	77	0.551	2.81
0.10	70	61	0.568	1.77
0.12	54	47	0.634	1.57
0.15	37	32	0.662	1.51
0.16	33	30	0.663	1.51
0.17	29	25	0.652	1.54
0.18	26	23	0.653	1.53
0.19	23	20	0.667	1.50
0.20	22	19	0.661	1.51
0.21	20	18	0.675	1.48
0.22	18	16	0.682	1.47
0.23	16	14	0.681	1.47

Les stations de recherches forestières allemandes se sont aussi occupées de cette question. Voici, d'après M. von Baur, les résultats obtenus par elles (2).

(1) Paris, Lucien Laveur, éditeur, 13, rue des Saints-Pères.
(2) *Holzmesskunde*, 4e édition, pages 125 et suivantes.

I. — Bois de plus de 0 m. 20 de tour.

Quartiers de bois d'œuvre		Nombre de pièces au stère	Volume	*Rondins de bois de feu*		Nombre de pièces au stère	Volume
			m. c.				m. c.
Bois de dimensions moyennes	Feuillus..	35	0.74	Bois droits et lisses	Feuillus..	107	0.63
	Résineux.		0.77			57	0.70
Bois de fortes dimensions	Feuillus..	25	0.80		Résineux.	114	0.67
	Résineux.	27	0.80			65	0.73
Quartiers de bois de feu				Bois courbes et noueux	Feuillus..	95	0.57
						53	0.64
Bois droits et lisses	Feuillus..	44	0.72		Résineux.	100	0.67
		28	0.76			55	0.64
	Résineux.	47	0.72				
		31	0.75				
Bois courbes et noueux	Feuillus..	44	0.65				
		28	0.67				
	Résineux.	43	0.68				
		28	0.71				

II. — Bois de moins de 0 m. 20 de tour.

Bois empilé			Volume du stère	*Bois façonné en fagots*				Volume du cent.
			m. c.					m. c.
Bois de 1 mètre de longueur	Bois de tiges.	Feuillus......	0.53	Fagots de 1 mèt. de long et 1 mèt. de tour.	Fagots de rondins	Bois de tiges.	Feuillus...	3.75
		Résineux.....	0.60				Résineux..	3.46
	Bois de branches.	Feuillus......	0.45			Bois de branches.	Feuillus...	2.53
		Résineux.....	0.48				Résineux..	2.17
Ramiers empilés sur toute la longueur	Bois de tiges.	Feuillus......	0.35		Bourrées	Bois de tiges.	Feuillus[1]..	2.85
		Résineux.....	0.52				Résineux[1].	3.04
	Bois de branches.	Feuillus......	0.16			Bois de branches.	Feuillus...	1.64
		Résineux.....	0.16				Résineux..	2.05
				Ramiers en faisceaux de 1 mètre de tour, mais de toute leur longueur		Bois de tiges.	Feuillus..	2.73
							Résineux..	2.74
						Bois de branches.	Feuillus...	1.90
							Résineux..	1.87

1. M. von Baur trouve ces chiffres exagérés. D'après lui ils seraient de 2.20 environ.

§ 2. — *Volume des écorces.*

Les écorces se façonnent ordinairement en bottes (écorces à tan) et quelquefois en stères (écorces de sapin destinées au

chauffage). Voici quelques données numériques, empruntées à M. Müller (1) permettant de passer de leur volume à leur poids ou inversement.

DIFFÉRENTES CATÉGORIES	1 mètre cube pèse en moyenne (kilog.)	100 kilog. représentent en moyenne un cube de (m.c.)	Le stère ou le cent de bottes ont en moyenne	
			un poids de (kilogr.)	un cube plein de (m.c.)
1° Ecorces de chêne empilées en stères				
Ecorces nettoyées, séchées en forêt, en plaques	867	0,130	289	0,376
Ecorces non nettoyées, séchées en forêt, en plaques	691	0,145	290	0,419
Ecorces de jeunes bois, luisantes, fraîches	881	0,113	»	»
Ecorce provenant de jeunes perches	640	0,119	»	»
Ecorces grossières	804	0,124	»	»
2° Ecorces de chêne façonnées en bottes				
Ecorces non nettoyées, fraîches	887	0,113	1898	2,070
Ecorces non nettoyées, séchées en forêt	779	0,128	1250	1,604
Ecorces fraîches en bottes normales 1 mètre de circonférence et autant de long	874	0,114	1911	2,185
Ecorces séchées en forêt, en bottes normales 1 mètre de circonférence et autant de longueur	764	1,130	1131	1,480
Ecorces fraîches en bottes longues (2 à 3 mètres de longueur)	916	0,109	4370	4,775
Ecorces séchées en forêt, en bottes longues	851	0,117	2850	3,354
3° Ecorces de sapin empilées en stères				
Ecorces non nettoyées, fraîches	864	0,116	440	509
Ecorces séchées en forêt	733	0,136	312	425

(1) *Op. cit.*, page 14.

CHAPITRE II

CUBAGE DES BOIS SUR PIED

SOMMAIRE

ARTICLE PREMIER. — CUBAGE DES ARBRES

§ 1. — *Mesure des diamètres.*

I. **Mesure des diamètres à un niveau quelconque.** — Emploi du théodolite, de la stadia. Instruments divers. Leur peu d'utilité pratique. Emploi de la photographie. Emploi d'échelles.

II. **Mesure des diamètres à hauteur d'homme.** — Ce qu'on entend par hauteur d'homme. Mesure en terrain incliné. Inégalités des diamètres mesurés suivant des directions différentes, causes qui les déterminent. Mesure de deux diamètres : moyennes.

§ 2. — *Mesure des hauteurs.*

I. La croix du bûcheron. Dendromètre de Barrande.

II. **Les dendromètres à perpendicule.** — Dendromètres de Duhamel, de M. d'Arbois de Jubainville.
Planchettes dendrométriques. Dendromètres de Regnault, de Faustmann de Belliéni.

III. **Les dendromètres de Sanlaville et dérivés.** — Principe du dendromètre de Sanlaville. Canne dendrométrique de Marceau. Dendromètre de Christen.

IV. Position la plus avantageuse pour faire les visées au dendromètre.

§ 3. — *Cubage du tronc des arbres sur pied.*

I. **Cubage du tronc des chênes ou hêtres réservés dans les taillis-sous-futaie.** — Emploi du diamètre médian. Le rapport du diamètre médian au diamètre à hauteur d'homme peut être considéré comme une fonction de la hauteur du tronc. Tableaux de ce rapport. Tarifs pour le cubage des chênes réservés dans les taillis-sous-futaie. Formules de Bouvard, de M. Devarenne.

II. **Cubage du tronc des arbres feuillus élevés en futaie pleine.** — Coefficients de forme et facteurs de cubage.

III. **Cubage du tronc des sapins et épicéas.** — Formules de MM. Algan, Reynard, Vivier. Formule des planches.

IV. **Procédé de Pressler pour le cubage des arbres sur pied.** — Son degré d'exactitude, difficultés de son emploi. Formule de Hossfeld.

§ 4. — *Cubage des cimes ou houppiers des arbres sur pied.*

Houppier des arbres de taillis-sous-futaie. Chiffres adoptés dans le service de l'Ecole nationale forestière Tarif de M. Frochot.
Volume relatif des cimes des arbres feuillus élevés en futaie pleine.
Volume relatif des cimes chez les sapins et épicéas. Tarif de M. Kunze.

ARTICLE 2. — CUBAGE DES PEUPLEMENTS

§ 1. — *Estimation à vue du volume des peuplements*

Estimation directe, à vue, par comparaison. Le volume en bois d'œuvre considéré comme une fonction de la hauteur.

§ 2. — *L'inventaire ou le comptage des peuplements.*

Tenue des calepins de comptage. Approximation utile dans la mesure des diamètres et des hauteurs. Mesure de deux diamètres ou de la circonférence.

§ 3. — *Cubage des peuplements au moyen de tarifs.*

I. **Construction des tarifs à une seule entrée**, donnant le volume en fonction du diamètre. Tracés graphiques. Forme de la courbe des tarifs. Lignes obtenues en portant en abscisses les carrés des diamètres,en ordonnées les volumes. Les peuplements en croissance ne peuvent être cubés longtemps avec le même tarif. Exemples de tarifs à une seule entrée pour le chêne, le hêtre, le sapin, l'épicéa.
II. **Construction des tarifs de cubage à double entrée.** — Les arbres de même diamètre ont fréquemment des volumes croissant comme une fonction du premier degré de la hauteur,ou même proportionnellement à la hauteur. Tarifs donnant le volume par mètre courant. Exemples de ces tarifs. Exemples de tarifs à deux entrées pour le sapin, l'épicéa et le chêne.

§ 4. — *Méthodes des stations de recherches pour le cubage précis des peuplements sur pied.*

I. — **Méthode de la station de recherches française.** — Emploi des tarifs spéciaux établis graphiquement et périodiquement révisés. Avantages de cette méthode.
II. **Méthode de l'Union des stations de recherches allemandes.** — Principe de la méthode, division du peuplement en cinq groupes d'arbres. Cubage de chaque groupe au moyen de trois tiges d'essai moyennes. Discussion du principe de la méthode. Définition et choix des tiges moyennes. Avantages et inconvénients de la méthode allemande ; reproches qui lui sont adressés dans son pays d'origine.
III. Degré de précision que comportent les cubages faits par les méthodes des stations de recherches.



ARTICLE PREMIER. — CUBAGE DES ARBRES

§ 1er. — *Mesure des diamètres.*

I. — Mesure des diamètres a un niveau quelconque.

Il n'existe aucun procédé entièrement satisfaisant pour cuber, d'une façon pratique et exacte à la fois, un arbre sur pied.

Le cubage du tronc ne peut, en effet, être effectué correctement que par la mesure de sa longueur et celle du diamètre au milieu. Pour peu que ce tronc soit élevé et de forme irrégulière, il devient même nécessaire de connaître plusieurs diamètres mesurés à différents niveaux. Cette mesure est généralement irréalisable (en pratique) sur des arbres debout.

Le volume de la cime est encore bien plus difficile à connaître tant qu'elle n'a pas été débitée en produits empilés. On ne peut que l'estimer approximativement, par comparaison avec des types cubés antérieurement après leur abatage.

On a du reste assez rarement besoin de connaître le volume exact d'un arbre sur pied considéré isolément. On ne cube guère qu'un grand nombre d'arbres à la fois; alors l'opération devient beaucoup plus facile puisqu'il suffit de connaître une moyenne et non plus une grandeur déterminée particulière.

Si l'on désire connaître exactement le volume d'une tige ou d'un tronc d'arbre le meilleur moyen à employer est assurément d'y faire monter un ouvrier muni d'un ruban à l'aide duquel il mesure la circonférence en des points convenablement choisis. Ce procédé est encore, somme toute, le plus rapide et le plus sûr. Il est inutile de faire remarquer qu'il ne saurait être employé en grand.

Lorsqu'on veut déterminer, sans quitter le sol, les dimensions du tronc d'un arbre debout on peut encore employer divers instruments destinés, les uns à mesurer les longueurs ou hauteurs; on les appelle des *dendromètres*, les autres à mesurer des diamètres. Considérons d'abord ces derniers.

Il est clair qu'un théodolite ordinaire peut servir à donner, théoriquement avec autant de précision qu'on le voudra, le diamètre d'un arbre en un point quelconque.

Soit (fig. 20) l'instrument placé en un point O à une distance

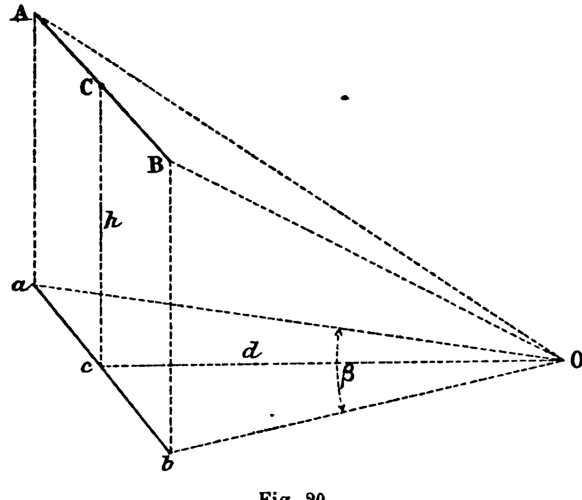


Fig. 20.

d de l'axe de l'arbre supposé vertical et supposons qu'il s'agisse d'évaluer la grandeur d'un diamètre AB, dont le centre est en C et qui est dirigé perpendiculairement au plan vertical passant par OC.

Projetons A, B et C en *a*, *b* et *c* sur le plan horizontal passant par O. Il est évidemment très facile, si l'on connaît O*c* que nous avons appelé *d*, et l'angle $aOb = \beta$, réduction à l'horizon de celui sous lequel on voit du point O la ligne AB, de calculer *ab* ou AB qui lui est égal. L'angle azimutal β se lit directement sur l'instrument et on a $AB = 2\,Oc\ tg\ \frac{\beta}{2}$.

En réalité les choses ne sont pas aussi simples dans l'exécution. Les points A et B, extrémités du diamètre qu'il s'agit de mesurer, sont invisibles du point O et ne peuvent être visés avec la lunette. On peut alors opérer de la manière suivante:

On fait faire à la lunette un angle vertical $\alpha = \frac{Aa}{Oa}$ ou sensiblement $\frac{h}{d}$ en appelant h la hauteur Cc du diamètre AB au-dessus du plan horizontal passant par O. Si nous supposons que la tige présente, dans le voisinage immédiat de la section faite au niveau AB, la forme d'un cylindre de révolution à axe vertical dont la circonférence du cercle de diamètre AB est la directrice, et que nous fassions, la lunette étant inclinée de manière à former avec l'horizon l'angle α, deux visées tangentielles à la surface cylindrique, l'intersection de la tige et du plan des deux lignes de visée sera une ellipse dont le plan passe par AB et dont le petit axe sera précisément la longueur AB à mesurer. Cette ellipse se projettera horizontalement suivant un cercle de diamètre ab = AB et dont le centre sera en c (fig. 21). Les deux lignes de visée se projetteront suivant deux tangentes OD et OE au cercle.

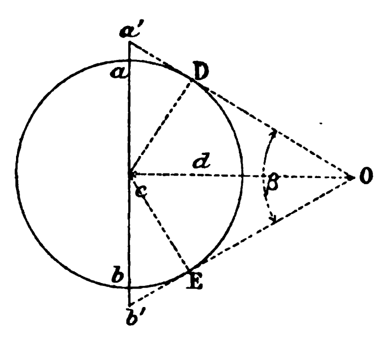


Fig. 21.

Si l'on effectuait le calcul comme nous l'indiquions tout à l'heure, on obtiendrait non pas la longueur ab, mais une longueur $a'b'$ interceptée sur AB prolongé par le prolongement des rayons visuels OD et OE. La différence $a'b' - ab$ dépend évidemment de la distance d et de la grandeur ab ; elle est ordinairement négligeable (1). Il est cependant plus correct et tout aussi

(1) On a (fig. 21)

$$ca' = \text{OC}\ Tg\ \frac{\beta}{2} = d\ Tg\ \frac{\beta}{2}$$

$$ca = \text{OC}\ \text{Sin}\ \frac{\beta}{2} = d\ \text{Sin}\ \frac{\beta}{2}$$

la différence est $d\left(\text{Tg}\ \frac{\beta}{2} - \text{Sin}\ \frac{\beta}{2}\right)$. Si l'on suppose d = 20 mètres et AC = 0m20 l'angle β sera d'environ six degrés et $\text{Tg}\ \frac{\beta}{2} - \text{Sin}\ \frac{\beta}{2}$ sera égal à 0.0000 72. L'erreur qui est $d \times 0.000\ 072$ sera négligeable.

simple de faire remarquer que dans le triangle rectangle OCD on a $CD = Ca = d \text{ Sin } \frac{\beta}{2}$ d'où $AB = 2d \text{ Sin } \frac{\beta}{2}$.

Cette méthode de calcul est, somme toute, entachée d'un assez grand nombre de causes d'erreur. Examinons les principales.

1° La tige n'a pas, dans le voisinage de la section passant par AB, la forme d'un cylindre de révolution que nous lui avons supposée.

Si elle a la forme d'un cône ou d'un paraboloïde du second degré, la section de ce corps par le plan déterminé par les deux lignes de visée sera bien une ellipse mais AB ne sera plus le petit axe de cette ellipse, celle-ci n'aura pas son centre sur l'axe de l'arbre et ne se projettera pas horizontalement suivant un cercle. Les erreurs qui en résulteront pourront être assez grandes si AB est grand et si OC est relativement petit (1).

A plus forte raison l'erreur pourra-t-elle être considérable si l'arbre présente une forme franchement irrégulière, méplate ou modifiée par un accident quelconque, ce dont il est peut-être impossible de s'assurer à la distance où l'on est placé de AB.

L'erreur est aussi souvent augmentée de ce chef que, pour régler l'inclinaison de la lunette, au lieu de calculer l'angle α dont la tangente est égale à $\frac{Aa}{Oa}$ (fig. 20) on se contente, pour régler l'inclinaison de la lunette, de viser un point de l'écorce, ordinairement dans le plan OCc qui se trouve à la hauteur $h = Cc$ au-dessus de O. Alors le plan des deux rayons visuels tangents ne passe plus par AB, mais au-dessus de cette ligne, et à une distance d'autant plus grande que le diamètre AB sera plus grand. Cette cause d'erreur, se combinant avec les précédentes, peut conduire, si d est petit, et AB relativement grand, à des résultats tout à fait inacceptables, ou tout au moins sans rapport avec la précision des lectures faites sur l'instrument. Il

(1) Il paraît inutile d'entrer dans plus de détails sur cette cause d'erreur par suite du peu de portée pratique de la question qui nous occupe.



faut donc, en tout cas, avoir soin de stationner à une distance convenable de la tige qu'on veut cuber ;

2° L'axe de l'arbre peut n'être pas vertical, comme nous l'avons supposé, de sorte que les résultats en seront viciés, cette cause d'erreur venant s'ajouter aux précédentes ;

3° Il est difficile, en pratique, de diriger des lignes de visée tangentiellement à une surface cylindrique, même lorsque celle-ci est parfaitement et également éclairée, et qu'elle se projette sur un fond dont elle se détache nettement, ce qui est loin d'être le cas en forêt ;

4° Toute irrégularité de l'écorce au point de contact d'une des lignes tangentielles, un peu de mousse ou un accident de forme entraîne des erreurs dont l'importance peut être assez grande et échappe à toute appréciation.

En somme l'emploi du théodolite est sans intérêt pratique, car, malgré la précision des mesures, les résultats ne sont pas plus exacts que ceux fournis par des instruments beaucoup plus simples.

On a proposé de mesurer les diamètres au moyen d'un procédé analogue à celui de la stadia topographique.

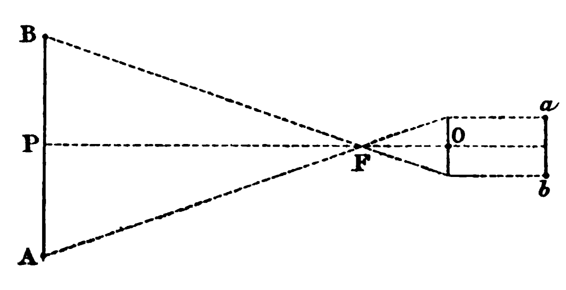


Fig. 22.

Soit O le centre de l'objectif d'une lunette stadimétrique dont le réticule est formé de fils *ab* à écartement variable et mesurable avec l'approximation que l'on voudra au moyen d'une vis micrométrique ; soit AB la longueur à déterminer.

On a (fig. 22):

$$\frac{AB}{ab} = \frac{PF}{OF}$$

Le point F est le centre d'anallatisme du système. Dans le cas d'une lunette à objectif unique c'est le premier foyer principal de cet objectif, dans le cas d'un objectif formé de deux ou trois lentilles le centre d'anallatisme serait le premier foyer principal de l'ensemble de ces lentilles et OF devient la distance focale principale d'une lentille équivalente au système des deux ou trois lentilles. En tout cas OF est une constante connue pour une lunette donnée; soit OF $= p$. OP $= d$ (distance du centre optique de l'instrument à l'objet à mesurer) peut se calculer, *ab* est mesurable d'où

$$AB = x = \frac{ab \times d}{p}$$

Des instruments ont été construits sur ce principe en France et en Allemagne, avec ou sans lunette. Il suffira de citer ici le dendromètre de Sanlaville (1), l'omnimètre de Gence (2), le dendromètre Raoult (3), etc., en France, le dendromètre de M. Wimenauer (4) en Allemagne.

Tous ces appareils présentent des difficultés d'emploi analogues à celles signalées plus haut à propos de l'emploi du théodolite. Aucun d'eux n'a pris, jusqu'à présent, d'importance dans la pratique.

(1) *Annales forestières*, vol. de 1842, page 115. Nous reviendrons sur cet instrument plus loin (page 94) à propos des dendromètres.

(2) *Annales forestières*, vol. de 1847, page 310.

(3) Le dendromètre Raoult ne se trouve pas dans le commerce; il n'en a été construit qu'un très petit nombre d'exemplaires dont l'un est déposé aux collections de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts. Nous renonçons à le décrire ici malgré l'ingéniosité de son principe qui le rend intéressant. On en trouvera la théorie et la description détaillée dans la *Revue des Eaux et Forêts*, vol. de 1886, page 562.

(4) Le dendromètre de M. Wimenauer, l'un des meilleurs instruments de ce genre que l'on ait construits, se trouve décrit dans l'*Allgemeine Forst und Jagd Zeitung*, vol. de 1898, page 252 et de 1899 page 44. On peut se le procurer chez le constructeur Sporhase à Giessen (Hesse); son prix est d'environ 100 francs.

On peut s'affranchir d'une partie des inconvénients des instruments ci-dessus en employant le dispositif suivant.

Supposons un instrument analogue au compas forestier, mais dont les bras fixe et mobile sont remplacés par deux lunettes M et N (fig. 23) ayant leurs axes optiques rigoureusement parallèles et perpendiculaires à la règle RR' sur laquelle on mesure leurs distances. Un pareil système permet évidemment, en dirigeant convenablement les lunettes, de mesurer directement le diamètre AB d'un cercle placé à une distance quelconque. Cet instrument ingénieux et fort simple, en théorie au moins, est sans doute encore le plus recommandable parmi ceux qui poursuivent le même but. Il a été réalisé par M. Friedrich, directeur de la Station de recherches autrichienne, auquel on doit un si grand nombre d'instruments remarquables pour la dendrométrie de précision. Il est inutile d'insister sur la commodité de son emploi qui ne nécessite aucune mesure d'angle ni de distance (1).

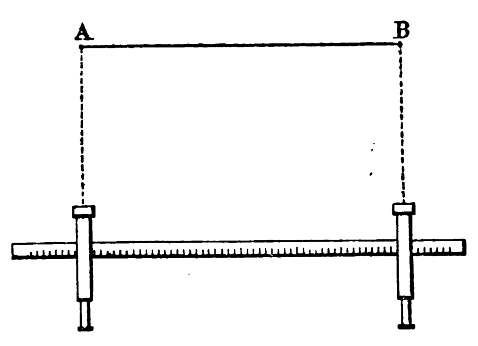


Fig. 23.

De même qu'on a essayé depuis longtemps d'utiliser la photographie au levé des plans, on a eu l'idée de l'appliquer à la mesure de la dimension des arbres. Le bel ouvrage, déjà cité (1er volume, 4e étude, page 364), de M. de Kerville a indiqué le premier, à notre connaissance, cette application intéressante de la photographie. Tout récemment M. Weber, agent forestier attaché à la Station de recherches forestières hessoise, a essayé de mesurer directement, sur des images photographiques, au

(1) La description détaillée de l'appareil, construit par la maison Starke et Kammerer à Vienne, se trouve dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, volume de 1895, page 335.

moyen d'un micromètre, les diamètres d'un arbre à différents niveaux. En même temps que la tige, on photographie une règle divisée qui sert d'échelle. La brochure de M. Weber (1) donne les résultats d'un assez grand nombre de mesurages effectués à des hauteurs allant jusqu'à 14 mètres; l'appareil employé ne permettait pas d'aller au delà. Les erreurs seraient le plus souvent inférieures à un demi-centimètre sur le diamètre et ne dépasseraient pas trois centimètres, mais il est évident que la précision des résultats varie beaucoup suivant l'échelle des images et d'autres circonstances. Le procédé photographique pourrait peut-être rendre des services dans des cas particuliers, mais un instrument qui ne permet pas d'opérer à une hauteur supérieure à 14 mètres nous paraît pouvoir être très avantageusement remplacé par une simple échelle d'émondeur à l'aide de laquelle le premier venu mesurera, avec un ruban, à un centimètre près ou moins, la circonférence jusqu'à 6 ou 7 mètres de hauteur. A plus forte raison faudrait-il préférer des échelles spéciales, comme celles utilisées par les stations de recherches française et suisse, qui permettent, sans plus d'embarras, et à moins de frais (2), de mesurer les diamètres à des hauteurs allant jusqu'à 20 mètres au-dessus du sol.

II. — Mesure des diamètres a hauteur d'homme.

Les considérations développées au paragraphe précédent suffisent à montrer que ce n'est qu'exceptionnellement qu'on peut connaître, pour le cubage des arbres sur pied, les dimensions transversales de la tige en des points éloignés du sol. En fait, le volume des arbres sur pied ne peut se déduire *en pratique*, et d'une façon habituelle, que de mesures faites à un niveau qui ne dépasse pas 1 m. 75 au-dessus du sol.

(1) *Holzmassen Ermittlungen*, etc., par Jacob Weber, Giessen, E. Roth, éditeur, 1902.

(2) L'appareil utilisé par M. Weber a une valeur d'environ 700 fr. et chaque cliché revient à 1 fr. 65 en moyenne.

Il est certain qu'il est peu logique de vouloir déterminer le volume des tiges d'arbres en fonction d'un diamètre unique, situé par surcroît tout à l'extrémité, dans la partie du fût où la forme, influencée par le voisinage du point où il va s'épanouir en racines, est particulièrement irrégulière.

Aussi s'est-on souvent efforcé de répandre l'usage d'effectuer la mesure du diamètre en un point variable suivant la longueur des tiges ou tout au moins au-dessus du niveau où l'influence des racines cesse de se faire sentir (1). Malgré sa supériorité indiscutable en théorie, cette façon d'opérer n'a jamais pu s'introduire dans la pratique.

On mesure toujours à une distance fixe du sol : à 1 m. 30 en Allemagne, à 1 m. 30 ou plus souvent à 1 m. 50 en France; c'est ce qu'on appelle la hauteur d'homme (hauteur de poitrine des Allemands).

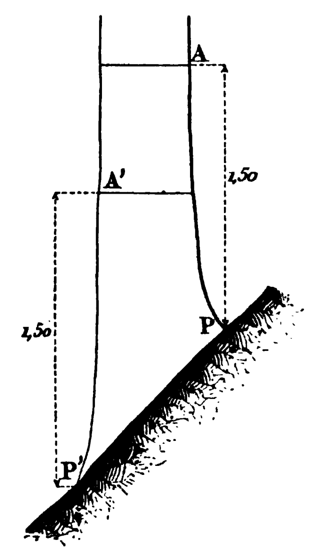


Fig. 24.

Lorsque l'arbre croît *en terrain incliné on mesure toujours la hauteur de 1 m. 50 du côté de l'amont*, suivant AP (fig. 24) et non pas du côté de l'aval suivant A' P'. Cette pratique constante dans tous les pays de montagne se justifie doublement d'abord parce lorsqu'on procédera à l'abatage la surface de section passera par P et non pas par P' et en second lieu parce qu'il est beaucoup plus facile pour l'ouvrier qui fait le mesurage de stationner en P, où les feuilles mortes et les détritus accumulés contre le tronc ont formé une petite terrasse horizontale où le pied se pose d'aplomb.

(1) Cette remarque avait déjà été faite par Salomon dans son *Traité d'aménagement* (1837) ; elle a été renouvelée bien souvent depuis. Béraud (*Annales forestières*, 1843),Pressler, Reynard (*Revue des Eaux et Forêts*, 1872). Algan (*ibid.*, 1901, etc., etc.).

On s'est posé la question suivante : *Est-il indifférent, lors de la mesure du diamètre d'un arbre, d'effectuer cette mesure dans une direction quelconque?*

Buffon et Duhamel rapportent, dans un mémoire présenté à l'Académie royale en 1735 (1), que les auteurs de leur temps admettaient que « les cercles ligneux de tous les arbres sont excentriques et toujours plus éloignés du centre ou de l'axe de l'arbre du côté du midi que du côté du nord... ». En réalité, répliquent Buffon et Duhamel, « nous n'avons pas observé que l'exposition produisît rien de sensible sur l'épaisseur des couches ligneuses, et nous croyons que, quand on en remarque plus d'un côté que d'un autre, elle provient presque toujours de l'insertion des racines ou de l'éruption de quelques branches, soit que ces branches existent actuellement, ou qu'ayant péri leur place soit recouverte... La vraie cause de l'excentricité des couches ligneuses est la position des racines et quelquefois des branches, et si l'aspect du midi ou du nord, etc., influe sur les arbres pour les faire grossir inégalement, ce ne peut être que d'une manière insensible, puisque, dans tous les arbres (disséqués par les observateurs) tantôt c'étaient les couches ligneuses du côté du midi qui étaient les plus épaisses, et tantôt celles du côté du nord ou de tout autre côté; et que, quand nous avons coupé des troncs d'arbres à différentes hauteurs, nous avons trouvé les couches ligneuses tantôt plus épaisses d'un côté, tantôt d'un autre ».

Il y a une quarantaine d'années le botaniste français Musset avait cru remarquer que, chez les arbres qu'il avait mesurés, le diamètre orienté Est-Ouest était en moyenne plus grand que celui orienté Nord-Sud, et il en avait même donné cette explication que c'était là un effet de la rotation de la terre autour de son axe.

Des nombreuses mensurations faites depuis cette époque on peut déduire les faits suivants :

(1) *Expériences sur les végétaux, troisième mémoire* (Œuvres complètes de Buffon, édition Faivre, tome IV, pages 466 à 470).

Lorsque le développement des racines ou de la cime d'un arbre est plus favorisé dans une direction que dans une autre, il en résulte un plus grand développement du diamètre dans cette même direction. L'inégalité de développement de la cime entraîne l'inégalité du diamètre, surtout dans le haut, celle des racines dans le bas des tiges.

Une des causes les plus fréquentes d'une croissance inégale des cimes est dans l'action du vent. Aussi la section de la tige des arbres fortement exposés au vent est-elle généralement plus développée dans la direction des vents dominants et les accroissements sont plus minces sur la face battue par le vent, la forme de la section de la tige rappelant ainsi celle de la cime (fig. 25).

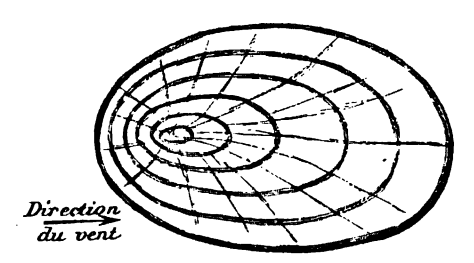


Fig. 25. — Section transversale de la tige d'un arbre déformé par le vent.

Une autre cause est dans l'espace laissé à la cime pour son libre développement. Des individus placés au bord d'un chemin, d'une clairière, d'une lisière abritée ou simplement dégagés d'un côté ont la cime et le diamètre plus développés du côté de l'espace libre, etc., etc.

On a remarqué aussi que les arbres croissant sur des versants fortement inclinés ont le diamètre dirigé parallèlement à la ligne de niveau plus grand que celui qui se trouve dans le plan passant par l'axe de l'arbre et la ligne de plus grande pente. Les différences peuvent être assez fortes de ce chef; elles ont été constatées d'une façon certaine par les travaux de la station de recherches suisse pour l'épicéa, le hêtre et le sapin (1). Elles

(1) *Mitteilungen*, etc. Tome Ier, pages 135 et 341 (Zürich, Höhr, 1891). Les différences constatées par M. Flury, auteur de ces recherches, sont en moyenne inférieures à un centimètre pour l'épicéa et le sapin ; elles atteignent un à un et demi centimètre pour le hêtre. Elles sont, en somme, négligeables dans la pratique des cubages, la surface terrière calculée par l'emploi du diamètre maximum ne différant guère de celle calculée à l'aide du diamètre moyen que de 1.6 p. 100 chez le hêtre, et de 0.3 p. 100 chez le sapin et l'épicéa.

paraissent augmenter avec l'âge des peuplements et peut-être avec la pente du terrain. Les différences ont été trouvées notablement plus fortes chez le hêtre que chez l'épicéa ou le sapin. Il semble aussi que l'effet de la pente à cet égard soit plus marqué aux expositions fraîches, peut-être parce que la végétation y est plus rapide.

On pourrait conclure de ce qui précède qu'il y a avantage à mesurer au moins deux diamètres, par exemple dans deux directions perpendiculaires, et à calculer leur moyenne. Cela peut être utile en effet lorsqu'il s'agit du cubage d'un seul arbre ou d'un petit nombre d'individus à la fois, quoique l'erreur commise par l'emploi d'un diamètre unique soit le plus souvent négligeable, surtout chez les résineux, à côté des erreurs inévitables qu'entraîne le cubage des arbres sur pied.

Lorsqu'on a mesuré deux diamètres a et b, on peut, pour faire une moyenne, employer l'un des trois procédés suivants :

1° On peut faire la moyenne arithmétique des diamètres et attribuer à la surface de section celle d'un cercle ayant ce diamètre moyen

$$S = \frac{\pi}{4}\left(\frac{a+b}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{16}(a+b)^2$$

2° Faire la moyenne des surfaces des cercles construits sur les deux diamètres

$$S' = \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4}a^2 + \frac{\pi}{4}b^2\right) = \frac{\pi}{8}(a^2+b^2)$$

3° Faire la moyenne géométrique entre a et b et attribuer à la surface de section celle d'un cercle ayant ce diamètre moyen ; cela revient à admettre que la surface de section est celle d'une ellipse dont les axes sont a et b

$$S'' = \pi \frac{ab}{4}$$

Il est facile de voir que c'est le second procédé qui donne le résultat le plus grand et le troisième le plus petit ; le premier

donne exactement la moyenne arithmétique entre les deux autres, ce qui est une raison de plus de le recommander comme nous avons fait plus haut. En effet

$$S' + S'' = \frac{\pi}{8}(a^2 + b^2 + 2\,ab) = \frac{\pi}{8}(a + b)^2 = 2S$$

Dans le cas où l'arbre aurait une section rigoureusement elliptique, l'erreur due au premier procédé serait :

$$S - S'' = \frac{\pi}{16}(a + b)^2 - \frac{\pi}{4}ab$$

$$= \frac{\pi}{16}(a^2 + b^2 + 2\,ab - 4\,ab) = \frac{\pi}{16}(a - b)^2$$

c'est le quart de la surface d'un cercle de diamètre $a - b$, et l'erreur est en trop.

Le second procédé donnerait une erreur

$$S' - S'' = \frac{\pi}{8}(a^2 + b^2) - \frac{\pi}{4}ab$$

$$= \frac{\pi}{8}(a^2 + b^2 - 2\,ab) = \frac{\pi}{8}(a - b)^2$$

C'est la moitié de la surface d'un cercle de diamètre $a - b$; l'erreur est en trop comme dans le cas précédent et deux fois plus forte.

§ 2. — *Mesure des hauteurs.*

I. — La croix du bûcheron.

Lorsqu'on veut connaître la hauteur d'un arbre ou d'un tronc debout, afin de pouvoir le cuber, on se contente, dans la pratique, de l'estimer à vue. Les résultats sont suffisamment précis surtout lorsqu'on opère sur un grand nombre d'arbres de façon à ce que les erreurs se compensent.

Il est en effet très facile à un opérateur tant soit peu attentif d'évaluer la hauteur du tronc d'un arbre avec l'approximation nécessaire pour une estimation faite en vue de la vente.

On peut se former le coup d'œil à cet égard en s'aidant d'une perche de longueur connue, par exemple de 4 mètres, que l'on fait dresser contre le pied de l'arbre.

Lorsque le bûcheron veut connaître avec exactitude le point du sol sur lequel s'abattra le sommet ou un point quelconque de la tige d'arbre qu'il va faire tomber, il se sert d'un instrument très simple et très ancien, comme l'indiquent son nom et sa diffusion dans toutes les régions forestières, non seulement de France, mais aussi d'Outre-Rhin; c'est la « croix du boquillon (1) ».

La croix du boquillon, ou du bûcheron, consiste très simplement en deux baguettes de longueurs égales d'à peu près 20 centimètres. L'opérateur, fermant un œil, applique contre la paupière abaissée l'extrémité d'une des baguettes qu'il dirige parallèlement au sol en visant, sur la tige de l'arbre à mesurer, un point qui se trouve à 1m.60 environ du sol. Il appuie la seconde baguette contre l'autre extrémité de la première, en ayant soin de la maintenir verticale (fig. 26). Il s'éloigne ensuite de l'arbre à reculons jusqu'à ce que les rayons visuels passant par les extrémités de la baguette verticale passent aussi par le pied et le sommet du sujet à mesurer. Il se trouve alors évidemment à une distance du pied de l'arbre égale à sa hauteur, distance qui doit, du reste, être mesurée parallèlement au sol et non pas suivant l'horizontale, ce qui permet de la mesurer au pas.

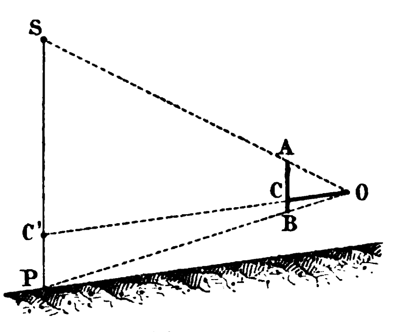


Fig. 26.

En effet, soit O l'œil qui effectue les visées, O et C les extrémités de la première baguette, A et B celles de la baguette ver-

(1) Le mot boquillon, pour bûcheron, était usité dès le XII[e] siècle; il appartenait encore à la langue littéraire du temps de Lafontaine. Actuellement il n'est plus employé que dans les dialectes de différentes régions.



ticale, P et S le pied et le sommet de l'arbre, C' le point de la tige rencontré par OC prolongé.

Les deux triangles OAB et OPS sont semblables et puisque AB = OC on aura aussi PS = OC'.

La croix du bûcheron, qui indique immédiatement, en terrain horizontal ou incliné, sans aucun mesurage ni calcul, le point précis (1) du sol où viendra s'abattre le sommet ou un point quelconque de la tige de l'arbre qui va tomber rend, dans la pratique des exploitations, des services quotidiens et précieux (2).

On a essayé de perfectionner la « croix du bûcheron ». C'est ainsi qu'on a construit un système articulé de deux règles, en bois ou en métal, celle destinée à être verticale se mettant d'elle-même dans cette position grâce à un poids attaché à son extrémité inférieure. Un dendromètre de ce genre a été décrit en 1845 par M. Barrande, sous-inspecteur des Forêts, et a été expérimenté par la commission d'aménagement du Calvados. L'erreur moyenne de mesurage ne dépasse pas 3 0/0, ce qui est très largement suffisant, et l'on peut mesurer environ 25 arbres en une heure (3).

II. — Les dendromètres a perpendicule.

Les instruments destinés à mesurer la hauteur d'arbres sur pied portent le nom, assez impropre du reste, de *dendromètres*.

Le nombre des dendromètres imaginés est tellement grand qu'il ne saurait être question d'en donner une énumération même approximative. Le traité de dendrométrie de M. Müller, le plus

(1) Un opérateur exercé obtient, par ce simple instrument, des résultats exacts à deux ou trois décimètres près.

(2) Dans la Forêt Noire les bûcherons désignent la croix du bûcheron sous le nom de « Nasenkreuz » parce que, dans cette région, les ouvriers appuient l'extrémité de la baguette parallèle au sol sur le sommet du nez. Celle-ci doit alors mesurer 3 centimètres de moins que la baguette verticale. Dans les Ardennes, les bûcherons opèrent aussi en appuyant la baguette sur le nez.

(3) *Annales forestières*, volume de 1845, page 26.



récent de ceux parus en Allemagne (1), en décrit une quarantaine environ; il serait facile, en feuilletant la collection des *Annales forestières* et de la *Revue des Eaux et Forêts* d'en ajouter près de deux fois autant à cette liste. Nous nous bornerons à une description sommaire de quelques-uns d'entre eux.

Duhamel du Monceau, dans son « Traité de l'exploitation des bois » (2), nous a laissé la description de presque tous les outils employés de son temps dans l'exploitation des forêts. Il a dédaigné de mentionner la « croix du bûcheron », mais il a proposé l'emploi, peu pratique, d'un instrument qu'on désigne parfois sous le nom d' « équerre de Duhamel. » C'est une équerre ordinaire à 45° dont l'un des côtés peut être maintenu vertical à l'aide d'un fil à plomb; on vise suivant l'hypoténuse et s'éloigne à tâtons jusqu'à ce que la ligne de visée passe par le sommet de l'arbre. On est alors à une distance de celui-ci égale à sa hauteur.

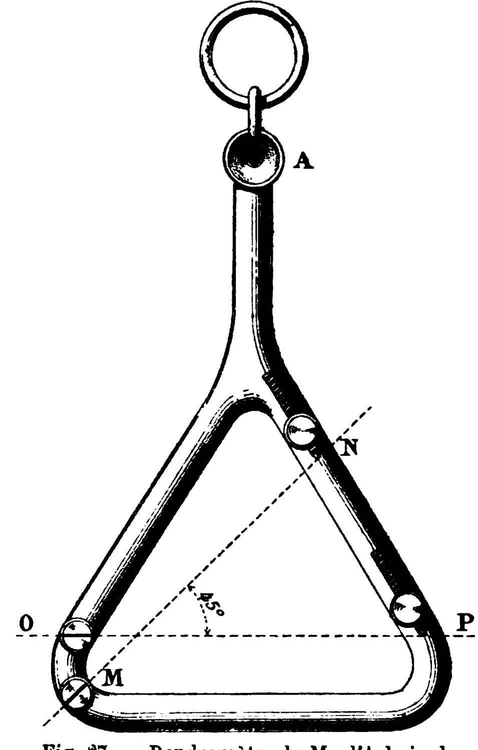


Fig. 27. — Dendromètre de M. d'Arbois de Jubainville.

Plus récemment, M. d'Arbois de Jubainville, conservateur

(1) *Lehrbuch der Holzmesskunde.* Leipzig, Haberland, éditeur, 1902.

(2) Magnifique ouvrage, en 2 volumes in-4. Paris, 1764. L'équerre dendrométrique est décrite dans le tome Ier, page 259.

des Eaux et Forêts, a proposé un dendromètre assez pratique basé sur le même principe. Il se compose essentiellement d'une tige de fer étamé repliée de façon à former un triangle isocèle ABC (fig. 27) ; au sommet A est ménagée une ouverture dans laquelle passe un anneau par lequel on tient l'instrument suspendu. Sur les côtés du triangle sont fixés quatre points de repère MNOP de telle manière que les lignes MN et OP fassent entre elles un angle de 45°. L'instrument est du reste équilibré de telle sorte que lorsqu'on le tient suspendu par l'anneau la ligne OP soit horizontale. Ce dendromètre a l'avantage d'être solide, peu encombrant et assez bon marché, mais il oblige, comme l'équerre de Duhamel, à stationner en un point dont l'altitude diffère très peu de celle du pied de l'arbre ; il est infé-

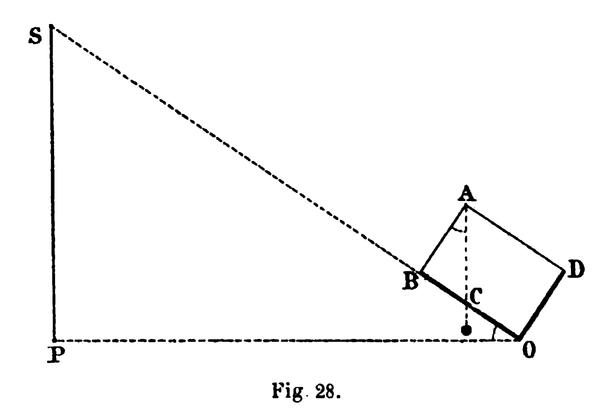


Fig. 28.

rieur à ce point de vue à la croix du bûcheron, qu'il n'a pas supplantée.

Tous les dendromètres ci-dessus, y compris la croix du bûcheron, supposent que l'opérateur est placé à une distance du pied de l'arbre égale à la hauteur de celui-ci, ce qui peut être très incommode (1).

Un second groupe de dendromètres à perpendicule, que nous

(1) On verra plus loin (page 98) que cette distance de stationnement est la plus avantageuse au point de vue de la précision des mesures.

appellerons des *planchettes dendrométriques*, est basé sur le principe suivant :

Soit (fig. 28) une hauteur PS à mesurer, O l'œil de l'opérateur supposé placé à 10 mètres de P, ABDO une planchette rectangulaire dont le côté AB = 0 m. 10 et AM un fil à plomb fixé au point A, rencontrant le côté OB en C lorsque la ligne OB prolongée passe par S, sommet de l'arbre. Les triangles OPS et ABC sont semblables : ils sont rectangles et les angles en A et en O sont égaux comme ayant leurs côtés perpendiculaires. Il en résulte que

$\frac{BC}{PS} = \frac{AB}{OP} = \frac{1}{100}$, c'est-à-dire que le même nombre qui exprime BC en centimètres exprime aussi PS, l'inconnue, en mètres. Il suffit donc de lire la longueur BC sur une graduation tracée sur OB à partir du point O pour obtenir directement la longueur PS.

Il est clair, du reste, qu'on peut, avec cet instrument, stationner plus bas ou plus haut que le pied de l'arbre. Si l'opérateur se trouve plus bas que le point P, pied de l'arbre, il vise d'abord le sommet S ce qui lui donne la différence de niveau P'S de son œil et du sommet S (fig. 29), puis le pied de l'arbre suvant OP ce qui donne la différence PP'. La longueur cherchée est P'S—PP'. De même si l'opérateur était placé plus haut que le point P il aurait à faire la somme des longueurs lues en visant successivement le sommet et le pied de l'arbre.

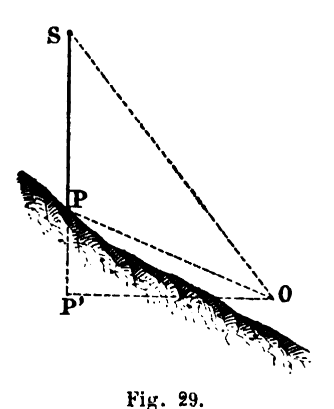


Fig. 29.

La planchette dendrométrique, telle que nous venons de la décrire, présente plusieurs inconvénients :

1° Elle oblige à stationner à une distance fixe du pied de l'arbre si l'on veut obtenir la hauteur par simple lecture, sans cal-

cul. Cette distance doit être égale à cent fois la distance du point d'attache du fil à plomb à la ligne sur laquelle on lit les graduations.

On remédie à cet inconvénient en traçant sur la planchette plusieurs lignes graduées parallèles à des distances de 8, 9, 10, 11, etc., centimètres du point fixe du fil à plomb; on peut alors stationner à des distances de 8, 9, 10, 11, etc., mètres du pied de l'arbre en faisant la lecture sur la ligne dont la distance au point fixe correspond à la distance à laquelle on se trouve du pied de l'arbre.

2° Il est impossible à l'opérateur qui vise le sommet ou le pied de l'arbre de relever en même temps le point où le fil à plomb coupe la ligne des graduations, et cette observation ne peut être faite que pendant que l'instrument est en station.

M. Regneault (1) a proposé, pour obvier à ce défaut de la planchette, le dispositif suivant :

Le dendromètre de Regneault se compose essentiellement de

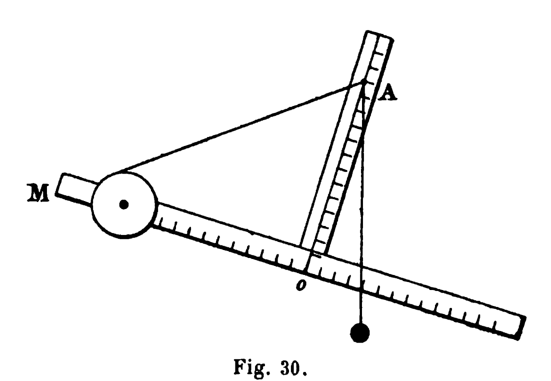


Fig. 30.

deux règles à angle droit ; le long de celle verticale peut glisser un petit curseur qui porte le point d'attache A du fil à plomb de sorte qu'on peut fixer celui-ci à une distance quelconque, égale au centième de celle à laquelle on se trouve du pied de l'arbre,

(1) Professeur à l'Ecole forestière de 1834 à 1866. Son dendromètre se trouve décrit dans le volume de 1847 des *Annales forestières*.

de la ligne graduée tracée sur l'autre règle OM. Le fil à plomb, au lieu d'être terminé au point A, y passe seulement à travers une ouverture ménagée dans le curseur mobile et vient s'enrouler (fig. 30), vers l'extrémité M de la grande règle, sur une petite poulie qu'on peut faire tourner entre deux doigts. D'autre part le fil à plomb est terminé par une masse sphérique assez volumineuse qui assure sa tension.

L'opérateur, visant le sommet de l'arbre suivant OM, et le fil à plomb battant la règle, tourne la poulie de façon à y enrouler le fil, sans déranger l'instrument, jusqu'à ce que la sphère venant en contact avec la règle il sente de la résistance. Il peut alors renverser l'instrument, remettre le fil dans sa position en rétablissant le contact de la sphère et de la règle, et faire la lecture. Il est inutile d'insister sur les défauts de cet instrument, peu commode et peu précis, qui ne présente plus aujourd'hui d'intérêt pratique.

Le dendromètre de Faustmann (1) est une autre planchette perfectionnée qui a joui d'une certaine vogue en Allemagne. Le pendule est accroché à une réglette (fig. 31) qui peut glisser dans une rainure creusée dans la planchette de telle façon que le point d'attache décrive une perpendiculaire à la ligne divisée en millimètres, les divisions étant tracées de part et d'autre du pied de la perpendiculaire. On peut donc à volonté fixer ce point d'attache, comme dans le dendromètre Regneault, à une distance de la ligne divisée égale au centième de la distance à laquelle on se trouve de l'arbre. La supériorité relative de l'appareil de Faustmann résulte de l'emploi d'un miroir pouvant se rabattre sur la planchette au moyen d'une charnière et qui permet, en l'ouvrant sous un angle convenable, de voir par réflexion le fil à plomb en même temps qu'on vise le sommet de l'arbre.

Un autre instrument basé sur le principe du fil à plomb est

(1) Forestier hessois, 1856.

celui que construit M. Belliéni, constructeur à Nancy, et qui est un perfectionnement d'appareils plus anciens, les dendromètres de Bouvard et de Huet et le clisimètre du colonel Goulier (1).

Il se compose d'une boîte en bois de 0 m. 11 de côté fermée par un verre, dans laquelle est suspendu un perpendicule portant un trait de repère et pouvant osciller le long d'un arc gra-

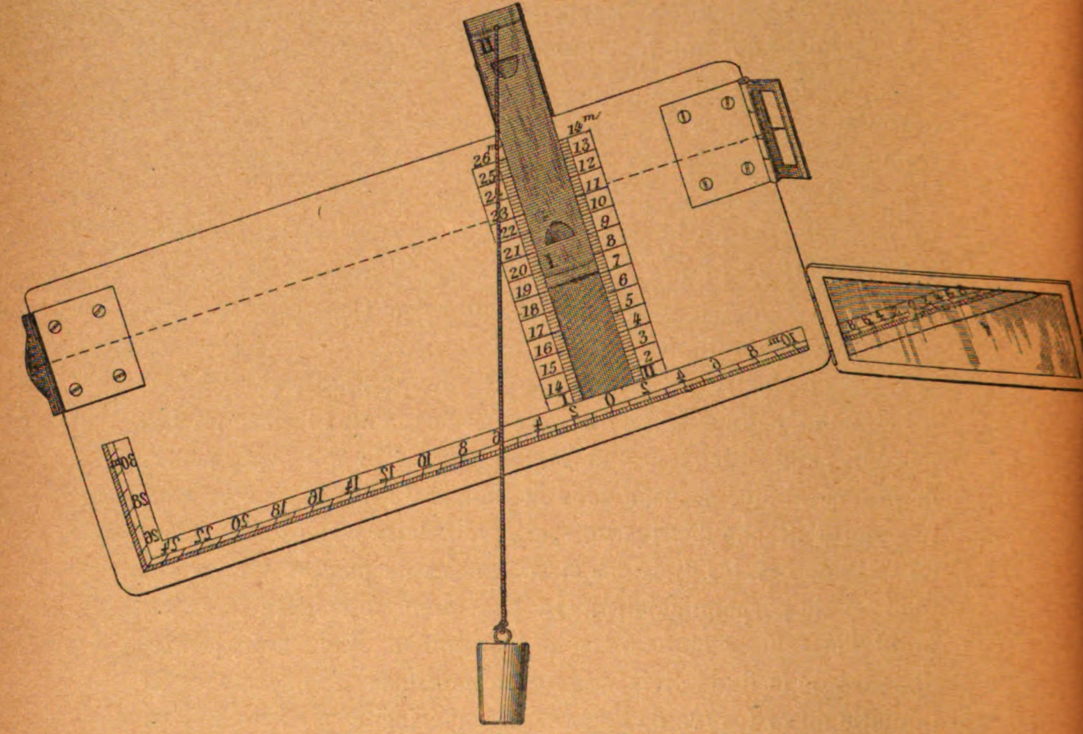


Fig. 31. — Dendromètre de Faustmann.

dué. Le zéro de la graduation se trouve au point où s'arrête le repère lors qu'une ligne de visée déterminée par un œilleton et une pointe fixés vers le bord supérieur de la boîte est horizontale. Un ressort, commandé par un bouton, immobilise le pendule ou lui laisse la liberté de se mouvoir, à la volonté de l'opérateur (fig. 32).

(1) Voir, pour les dendromètres Bouvard et Huet, les *Annales forestières*, volume de 1842, page 227. C'est sur les indications de M. Roulleau, Inspecteur des Eaux et Forêts au Mans, que M. Belliéni a modifié le clisimètre Goulier en vue de son emploi en dendrométrie.

La graduation indique les tangentes naturelles dans un cercle de rayon égal à cent mètres. Cette graduation est double ; l'une est faite en chiffres renversés, ce qui permet de la lire facilement

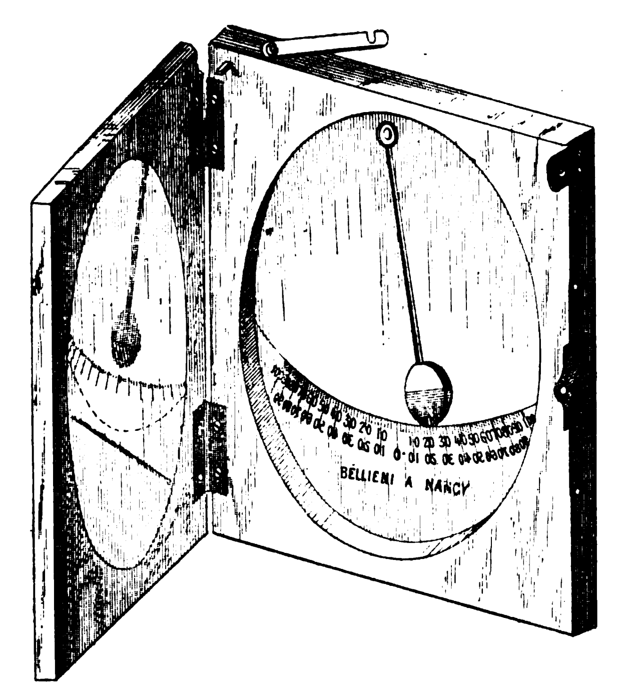


Fig. 32. — Dendromètre de M. Belliéni.

dans un miroir inséré dans le couvercle à charnière de l'appareil.

Pour se servir de cet instrument l'opérateur, appuyant sur un jalon la main droite qui maintient la boîte, donne la liberté au perpendicule en appuyant sur le bouton du ressort. Il vise alors successivement le sommet et le pied de l'arbre dont il veut connaître la hauteur. Il peut lire directement, sans déplacer l'instrument, dans le miroir, les tangentes naturelles des angles que font avec l'horizontale les deux lignes de visée ; il en fait la différence algébrique (en affectant du signe — les tangentes des angles mesurés au-dessous de l'horizon) et multiplie cette différence par la distance horizontale du point de

station au pied de l'arbre. Le produit est la hauteur cherchée.

On peut aussi, sans se servir du miroir, arrêter le pendule au moyen du ressort dans la position où il se trouve au moment où l'on fait la visée et renverser l'instrument pour effectuer la lecture.

Le dendromètre Belliéni nous paraît être le plus recommandable de tous (1) les instruments analogues ; il est très commode puisqu'il permet de stationner en un point absolument quelconque, peu encombrant, solide et suffisamment précis pour les besoins de la pratique.

III. — Les dendromètres de Sanlaville et dérivés.

Le dendromètre de Sanlaville (2) est basé sur le principe suivant :

Le long de la verticale AB à évaluer (fig. 33) dressons une

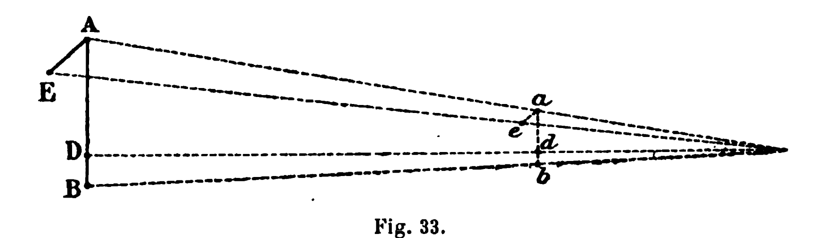


Fig. 33.

perche BD de hauteur connue, 2 mètres par exemple. Supposons ab parallèle à AB et plaçons l'œil en O de façon à pouvoir viser à la fois suivant OA, OD et OB.

On a évidemment, en appelant x la longueur AB :

$$\frac{x}{ab} = \frac{DB}{bd}$$

(1 C'est celui que l'Ecole nationale des Eaux et Forêts met entre les mains de ses élèves, son prix est de 14 fr.

(2) Voir les *Annales forestières*, volume de 1842, page 115. Sanlaville était un géomètre habitant à Beaujeu (Rhône) ; son instrument est décrit pour la première fois dans un rapport adressé en 1842, par un nommé Olivier, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Si *db* est une constante connue (égale à 2 centimètres dans l'appareil déposé aux archives de l'Ecole forestière) et BD = 2 m. il en résulte que un centimètre sur *ab* représentant un mètre sur AB et la longueur $x = 100\ ab$.

Le rayon AE à un niveau quelconque peut se mesurer d'après le même principe. L'instrument étant placé de façon à ce que les droites A*a*, B*b*, D*d* convergent en un point O on déplace, sur une ligne horizontale, un point *e* jusqu'à ce que la droite E*e* y converge également. On a alors, en appelant *y* le rayon AE

$$\frac{y}{ae} = \frac{DB}{db} = 100, \text{ d'où } y = 100\ ae.$$

Il est sans doute inutile d'entrer dans des détails sur le mode de construction de cet instrument. L'Administration des Forêts en a fait établir, en 1842, six exemplaires qui ont été remis à diverses commissions d'aménagement chargées d'expérimenter son emploi. Il ne semble pas que les résultats aient été favorables; en tout cas le dendromètre Sanlaville était petit à petit tombé dans l'oubli chez les forestiers praticiens français. Il a eu la singulière fortune d'être repris et perfectionné en 1870 par un constructeur viennois, M. Schablass, qui en a fait un instrument de précision et un des dendromètres les plus perfectionnés que l'on connaisse. En 1869, Edouard Heyer, alors professeur à l'Université de Giessen, avait, de son côté, fait établir par le constructeur Staudinger un dendromètre de ce système (auquel il avait du reste conservé le nom de dendromètre Sanlaville) et dont il s'était fait le propagateur convaincu. D'après Heyer il permettrait de mesurer facilement, et avec une exactitude remarquable, 20 et jusqu'à 30 arbres en une heure (1) (hauteurs et diamètres à divers niveaux).

Un dendromètre très simple, basé sur la théorie de Sanlaville,

(1) Ed. Heyer. *Über Messungen der Höhen sowie der Durchmesser der Bäume* (Giessen, 1870, pages 28 à 38). M. Spörhaser, successeur de Staudinger à Giessen, fournit cet instrument au prix d'environ 110 fr.



a été proposé en 1881 par M. Marceau (1); il est connu en France sous le nom de *canne dendrométrique*. Il se compose d'une règle ou canne d'environ un mètre de longueur qu'on peut tenir suspendue verticalement au bout du bras tendu. L'observateur fait sur le tronc de l'arbre à mesurer une marque apparente à 2 m. du pied; il marque de même le point du pied à partir duquel ont été mesurés les deux mètres, puis il s'éloigne à 5 m. au moins et à 35 m. au plus et, tenant la canne verticalement, il vise par le bas de la canne le point marqué au pied de l'arbre, puis il allonge ou raccourcit le bras jusqu'à ce que le point marqué à 2 m. se trouve sur la même ligne de visée que la graduation portant le n° 2. Il suffit alors d'élever le regard pour lire sur la canne la hauteur cherchée.

M. Christen, garde général des Forêts à Bienne (Suisse), a décrit en 1891 un dendromètre très analogue à la canne Marceau et qui paraît recommandable.

Il se compose d'une lame de laiton dont la longueur exacte

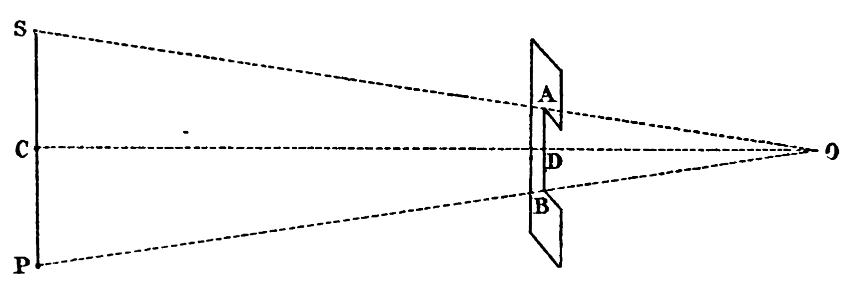


Fig. 34.

est de un tiers de mètre que l'on peut tenir suspendue verticalement entre deux doigts. Dans cette lame est pratiquée latéralement une entaille de 0 m. 30 de hauteur. On fait dresser contre la tige PS (fig. 34) de l'arbre à mesurer une perche PC de 4 m. de long. S'éloignant ensuite à une distance convenable, on allonge

(1) Le premier modèle du dendromètre Marceau a été présenté à la Société nationale d'agriculture en 1881 (voir *Revue des Eaux et Forêts*, vol. de 1881, page 221). La canne dendrométrique simplifiée se trouve décrite dans le volume de 1882 du même recueil, page 250.

ou raccourcit le bras qui tient l'instrument suspendu jusqu'à ce que les rayons visuels passant par le haut A et le bas B de l'entaille passent aussi par le sommet S et le pied P de l'arbre. On lit alors, sans bouger la tête ni le bras, la division en face de laquelle passe le rayon visuel qui aboutit au sommet C de la perche. On obtient ainsi immédiatement, les graduations étant convenablement tracées le long de AB, la hauteur cherchée.

On a en effet, en appelant x la hauteur inconnue PS

$$\frac{x}{0.30} = \frac{4}{\mathrm{BD}} \text{ d'où } x = \frac{1.20}{\mathrm{BD}}$$

Il est donc facile de calculer les valeurs que prend BD pour des grandeurs de x variant de mètre en mètre ou de demi-mètre en demi-mètre et ce sont ces valeurs que l'on inscrit sur la règle de laiton.

Il est clair du reste qu'on pourrait donner à la perche une longueur quelconque l; il faudrait alors multiplier par $\frac{l}{4}$ les longueurs lues pour avoir la hauteur cherchée. La longueur totale de un tiers de mètre donnée à l'instrument permet de s'en servir pour découper facilement, sur le terrain, la perche ou latte de 4 mètres.

Les dendromètres du système Sanlaville présentent le très grand avantage de permettre de stationner en un point quelconque, plus haut, plus bas que le pied de l'arbre, sans avoir à effectuer aucun calcul, et sans qu'on ait à mesurer la distance du point de station à l'arbre, laquelle peut également être quelconque. Les modèles construits jusqu'à présent sont cependant ou bien trop compliqués et trop chers (modèle de Heyer) ou bien, au contraire, trop sommaires et peu précis (dendromètres de Marceau et de Christen). Ces deux derniers instruments exigent de plus, chez l'opérateur, une excellente vue et une main très ferme. Il serait désirable qu'ils fussent perfectionnés de façon à donner, pour la pratique, un instrument qui serait sans doute appelé à supplanter tous les autres.

IV

Lorsqu'on détermine la hauteur ou le diamètre d'un arbre par un calcul de proportion il est avantageux de stationner aussi près que possible de l'arbre afin de ne pas multiplier par un chiffre trop élevé l'erreur de mesure. Tel est le cas lors de l'emploi de lunettes stadimétriques pour les diamètres, des planchettes ou des dendromètres de Sanlaville et dérivés de celui-ci pour les hauteurs.

Lorsqu'on emploie un instrument comme le dendromètre Belliéni, ou un éclimètre, qui donne la hauteur par la mesure d'un angle, on peut démontrer que le point de station le plus favorable est celui qui se trouve à une distance de l'arbre égale à sa hauteur, c'est-à-dire que l'erreur de visée est minima lorsque celle-ci se fait sous un angle de 45°.

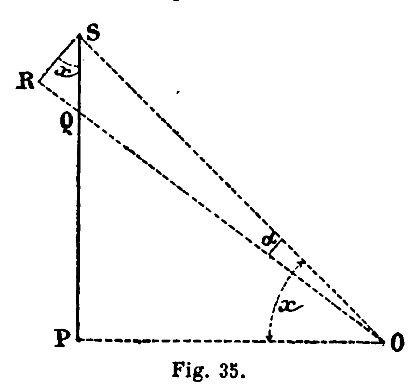


Fig. 35.

En effet soit (fig. 35) α l'angle d'erreur tenant à l'imperfection de l'instrument, à son défaut de stabilité, aux déplacements du sommet de l'arbre agité par le vent, à l'imperfection des organes de l'opérateur, etc. Cet angle peut être considéré comme une grandeur constante, indépendante de l'angle x sous lequel se fait la visée. L'erreur en résultant dans la mesure de la hauteur PS ou h est SQ. Menons SR perpendiculaire à OS nous avons :

$$PS = h = OS \operatorname{Sin} x \quad \text{d'où} \quad OS = \frac{h}{\operatorname{Sin} x}$$

Dans le triangle rectangle SRO l'angle α est constant, ce triangle reste donc semblable à lui-même quel que soit x et l'on a, en appelant K un facteur constant :

$$SR = K \times OS = K \frac{h}{\text{Sin}x}$$

D'autre part dans le triangle rectangle (1) SQR l'angle en S est égal à l'angle x, ces deux angles ayant leurs côtés perpendiculaires. On a donc

$$SR = SQ\ \text{Cos}x \text{ ou } SQ = \frac{SR}{\text{Cos}x} = K \frac{h}{\text{Sin}x\ \text{Cos}x} = 2K \frac{h}{\text{Sin}\ 2\ x}$$

Il résulte de là

1° Que pour une même valeur de x l'erreur est proportionnelle à h;

2° Que pour une même valeur de h elle est minima lorsque Sin $2x$ est maximum, c'est-à-dire lorsque $x = 45°$.

§ 3. — *Cubage du tronc des arbres sur pied.*

On appelle tronc la partie d'un arbre susceptible de donner du bois d'œuvre (2). Le fût est la partie dénudée du tronc, entre le sol et les premières grosses branches.

Nous supposerons connus la hauteur du tronc et son diamètre à hauteur d'homme. Le volume du tronc peut s'évaluer par l'un des procédés empiriques suivants (3).

(1) On peut admettre, à cause de la petitesse relative de l'angle α, que SR, mené perpendiculaire à OS, l'est aussi sensiblement à OR.

(2) La limite de diamètre minimum à laquelle on arrête les bois d'œuvre varie suivant les essences et les usages locaux. Le chêne et le hêtre sont souvent tronçonnés à $0^{m}25$ de diamètre au petit bout; c'est la dimension minima pour le débit en traverses de chemin de fer. Les résineux destinés au sciage se découpent souvent à $0^{m}15$; lorsqu'ils ne sont propres qu'à donner de la menue charpente ou des étais de mine on va parfois jusqu'à $0^{m}08$ ou même $0^{m}07$ comme diamètre minimum.

(3) On trouvera, réunis dans ce paragraphe, un certain nombre de procédés de calcul rapide pour déterminer le volume des arbres sur pied. Ces procédés (au moins ceux usités en France) n'ont évidemment aucune prétention à une exactitude mathématique. Ils n'en sont pas moins d'un très grand intérêt pratique et rendent souvent des services précieux, non seulement aux estimateurs inexpérimentés, mais encore aux autres. C'est ce qui nous a déterminé à développer assez notablement cette partie éminemment pratique, et, croyons-nous, utile, de notre étude sur la dendrométrie.



I. — Cubage du tronc des chênes ou hêtres réservés dans les taillis-sous-futaie.

Soit h la hauteur du tronc, D le diamètre, C la circonférence à hauteur d'homme, d le diamètre et c la circonférence à la hauteur $\frac{h}{2}$, V le volume. On peut admettre, approximativement, si h n'est pas trop grand ni la forme trop irrégulière que

$$V = \frac{\pi}{4} d^2h = 0{,}7854\ d^2h \qquad \text{ou encore}$$

$$V = \frac{1}{4\pi} c^2l = 0{,}0796\ c^2l$$

Si l'on connaissait le rapport $\frac{d}{D} = \frac{c}{C}$ le problème serait résolu.

Il n'existe pas de rapport constant entre la grandeur du diamètre médian et celle du diamètre à hauteur d'homme. Ce rapport varie dans de très larges limites (0.60 à 0.90 par exemple) suivant l'espace dont l'arbre a disposé pour se développer, suivant les conditions naturelles de sol et de climat, suivant les essences et suivant l'âge de l'individu, c'est-à-dire suivant les circonstances qui influent sur la forme de l'arbre.

Il est à remarquer que tous ces facteurs, qui déterminent la forme, influent aussi considérablement sur la hauteur, de sorte que forme et hauteur sont assez étroitement liées. Aussi a-t-on constaté depuis longtemps que des arbres provenant du même mode de traitement, crûs sur le même point ou dans l'intérieur d'une région homogène quant au sol et au climat, appartenant enfin à une même essence, ont des volumes égaux lorsqu'ils ont même diamètre et même hauteur. C'est sur cette remarque que sont basés les procédés de calcul que nous allons exposer.

Les arbres réservés au-dessus des taillis ont une forme bien caractérisée qui permet de les cuber assez facilement à l'aide de procédés qui leur sont spéciaux.

On admet généralement pour ces arbres les rapports suivants en appelant, suivant nos conventions, D le diamètre à hauteur d'homme et *d* le diamètre médian.

Si *h* (hauteur du tronc) varie de 6 à 8 m. $\frac{d}{D} = 0.92$

id. 9 à 10 m. $\frac{d}{D} = 0.90$

id. 11 à 13 m. $\frac{d}{D} = 0.875$

id. 14 à 16 m. $\frac{d}{D} = 0.83$

Noirot-Bonnet, praticien, dont les assertions sont dignes de confiance en pareille matière, admettait (1) que $\frac{d}{D} = 0.89$ en moyenne pour les chênes de taillis, ce qui concorde bien avec les données du tableau ci-dessus, les chênes réservés au-dessus de taillis aménagés à 25 ou 30 ans ayant des hauteurs de troncs très généralement comprises entre 8 et 14 mètres. M. Vaulot, garde général des Forêts, a trouvé, comme moyenne de plus de 200 mesurages effectués sur des chênes de taillis en terrain calcaire peu profond, que le rapport $\frac{d}{D}$ variait de 0.80 à 0.90 (2).

Des mesurages effectués par nous-même sur plus de trois cents grumes de chêne provenant de forêts traitées en taillis-sous-futaie à la révolution de 30 ans et croissant sur les marnes argileuses du lias des environs de Nancy nous ont donné les chiffres suivants pour le rapport entre le diamètre médian et celui à hauteur d'homme, la découpe se faisant à un diamètre d'environ 0 m. 25 au petit bout.

(1) *Manuel théorique et pratique de l'estimateur de bois*, par Noirot-Bonnet, géomètre forestier. Paris et Langres, 1832, page 148.
(2) *Revue des Eaux et Forêts*, vol. de 1875, page 44.

LONGUEUR DES GRUMES (mètres)	RAPPORT ENTRE LE DIAMÈTRE MÉDIAN ET LE DIAMÈTRE A 1 M. 50 DU SOL
6	0,94
8	0,91
10	0,88
12	0,86
14	0,845

Nous basant sur ces données, nous avons calculé le tarif ou barême ci-dessous qui permettra le cubage immédiat du tronc de chênes de taillis sur pied, en fonction du diamètre à hauteur d'homme et de la hauteur de ce tronc.

Tarif pour le cubage des chênes réservés au-dessus des taillis.
(*Volume de la tige arrêtée à un diamètre de o m. 25 au petit bout.*)

DIAMÈTRE à 1 m. 50 du sol	HAUTEUR DU TRONC (JUSQU'A 0m.25 DE DIAMÈTRE AU PETIT BOUT)								
	6 mèt.	7 mèt.	8 mèt.	9 mèt.	10 mèt.	11 mèt.	12 mèt.	13 mèt.	14 mèt.
m.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
0.25	0.26	0.29	»	»	»	»	»	»	»
0.30	**0.37**	**0.42**	**0.47**	**0.52**	**0.55**	»	»	»	»
0.35	0.50	0.57	0.64	0.70	0.75	0.82	0.87	»	»
0.40	**0.65**	**0.74**	**0.83**	**0.91**	**0.98**	**1.06**	**1.13**	»	»
0.45	0 83	0.94	1.05	1.16	1.24	1.35	1.43	1.51	»
0.50	**1.02**	**1.16**	**1 30**	**1.42**	**1.53**	**1.65**	**1.77**	**1.87**	**1.96**
0.55	1.24	1.41	1.57	1.71	1.85	2.00	2.14	2.26	2.38
0.60	**1.47**	**1.67**	**1.87**	**2.04**	**2.21**	**2.38**	**2.55**	**2.69**	**2.83**
0.65	1.72	1.91	2.19	2.39	2.59	2.79	2.99	3.16	3.32
0.70	**2.00**	**2.27**	**2.54**	**2.77**	**3.00**	**3.23**	**3.46**	**3.66**	**3.85**
0.75	2.29	2.61	2.92	3.18	3.44	3.71	3.98	4 20	4.42
0.80	**2.61**	**2.97**	**3.32**	**3.62**	**3.92**	**4.22**	**4.52**	**4.78**	**5.03**
0.85	2 95	3.35	3.75	4.09	4.43	4.77	5.11	5.39	5.67
0.90	**3.31**	**3.76**	**4.20**	**4.58**	**4.97**	**5 35**	**5.73**	**6.05**	**6.36**
0.95	3.69	4.19	4.68	5.11	5.53	5.96	6.38	6.73	7.08
1 00	**4.08**	**4.63**	**5.18**	**5.66**	**6.13**	**6.60**	**7.07**	**7.46**	**7.85**

La *formule de Bouvard* (1) souvent appliquée au cubage du

(1) M. Bouvard, ancien inspecteur des Forêts, né vers 1810. Il est l'inventeur d'un dendromètre à perpendicule auquel nous avons fait allusion plus haut.

tronc des chênes de taillis-sous-futaie donne leur volume V par l'équation

$$V = \frac{1}{2} D^2 h.$$

Si l'on admet que le volume des troncs est égal au produit de la section médiane, de diamètre d, par la hauteur, l'emploi de la formule de Bouvard revient à admettre que

$$\frac{1}{2} D^2 h = \frac{\pi}{4} d^2 h \qquad \text{ou } \frac{d}{D} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} = 0{,}7978.$$

D'après ce qui précède, les résultats donnés par la formule de Bouvard seraient donc généralement trop faibles. Ils s'appliquent mieux à des chênes comme on en rencontre dans les peuplements de futaies éclaircies, mais comme il est rare d'en trouver dans nos taillis-sous-futaie, tels qu'ils sont actuellement constitués. On l'emploie pourtant fréquemment, en se souvenant du sens de l'erreur qu'elle donne, à cause de sa simplicité qui la rend commode pour le calcul mental (1).

Mentionnons enfin, à titre de curiosité, une remarque publiée pour la première fois, croyons-nous, par M. Devarenne (2) et qui fournit un procédé assez commode pour cuber rapidement des chênes de taillis-sous-futaie. Il est basé sur la coïncidence singulière et toute fortuite qui existe entre le volume, par mètre courant, du fût d'un arbre évalué au cinquième déduit (3) *en décimètres cubes* et *dix fois la somme plus un* des chiffres exprimant, en décimètres, la circonférence mesurée à hauteur d'homme, chaque chiffre étant pris avec sa valeur absolue.

C'est ainsi qu'un tronc d'arbre de 1 m. 50 de tour aura (volume au cinquième déduit), par mètre courant, un volume de

$$10\,(1 + 5 + 1) = 70 \text{ décimètres cubes} = 0 \text{ mc. } 07.$$

(1) On peut admettre que le *facteur de cubage*, dont le produit par D^2h donne le volume du tronc des arbres de taillis, est compris entre 0.55 et 0.68 dans la généralité des cas.

(2) *Notes forestières*, par Th. Devarenne, ancien inspecteur des Forêts. Chaumont, 1899.

(3) Voir plus haut, page 38.

Si le tronc a une longueur de 12 m.,son volume sera donc de 0.07 × 12 = 0 mc. 84 au cinquième déduit et de 1 mc. 68 en grume.

Cette règle ne s'applique bien qu'aux arbres de 1 m. 20 à 2 m. de tour. Pour les troncs plus petits ou très gros, on peut calculer le volume en admettant qu'il est quatre fois inférieur ou supérieur à celui des troncs de circonférence double ou moitié.

Le *procédé de M. Devarenne* donne sensiblement les mêmes résultats que ceux que l'on obtiendrait en admettant un rapport

$$\frac{d}{D} = 0,88.$$

II. — Cubage du tronc des arbres feuillus élevés en futaie pleine.

Si l'on admet que la tige d'un arbre a la forme d'un paraboloïde d'Appolonius, le tronc aura celle d'un paraboloïde tronqué, auquel on peut, sans erreur sensible, donner comme section de base la section de l'arbre à hauteur d'homme. Lorsque la découpe du tronc au petit bout s'effectue, comme il arrive souvent pour les vieux chênes provenant de futaies pleines, à une distance du sommet de l'arbre égale aux deux cinquièmes de la hauteur totale, la section s au petit bout sera, en appelant S la section de base,

$s = \frac{2}{5} S$ et la section médiane du tronc, σ, sera

$$\sigma = \frac{1}{2} (S + \frac{2}{5} S) = 0,7 S$$

Le volume du tronc sera donc, en appelant h sa hauteur

$$V = 0,7 \times Sh,$$

c'est-à-dire que le volume de la grume sera les sept dixièmes de celui d'un cylindre de mêmes base et hauteur (1). On appelle

(1) Le fait que, dans les massifs de futaie pleine, les grumes de chêne découpées vers 0m30 de diamètre au petit bout ont un volume égal aux sept dixièmes de celui d'un cylindre de même base et de même hauteur a été reconnu pour la première fois par d'Auvergne (Jules d'Auvergne, né en 1816, élève à l'Ecole forestière en 1837, mort sous-inspecteur des Forêts à Blois en 1863). Ce forestier

coefficient de forme du tronc ce facteur, égal au cas particulier à 0,7, par lequel il faut multiplier le volume du cylindre de mêmes dimensions pour obtenir celui de la grume.

Au lieu d'introduire dans le calcul la grandeur S, qu'on ne peut mesurer directement sur le terrain, il est plus commode de considérer le diamètre D à hauteur d'homme et de rechercher le volume du tronc de hauteur h en fonction du produit D^2h, comme nous l'avons vu déjà à propos de la formule empirique de Bouvard.

Il est facile de voir que si l'on a

$$V = K\,S\,h = K\frac{\pi}{4}\,D^2\,h$$

le facteur de cubage K' par lequel il faut multiplier le produit D^2h pour avoir le volume sera

$$K' = \frac{\pi}{4}\,K = 0{,}7854\ K.$$

Le facteur de cubage pour les grumes de chêne de futaie pleine découpées vers 0.30 de diamètre au petit bout (1) sera donc de $0{,}7 \times 0{,}785 = 0{,}55$ (2).

La grandeur du facteur de cubage dépend évidemment, dans

s'était basé sur de très nombreux cubages effectués par lui dans les forêts du Blésois. M. Roulleau, inspecteur des Forêts au Mans, a vérifié son exactitude presque parfaite dans les futaies de la Sarthe et l'on peut l'admettre pour toutes les futaies du centre nord-occidental de la France, tant pour le chêne que pour le hêtre. (Nous empruntons ce renseignement à un traité manuscrit de cubage, rédigé par M. Roulleau en 1897, resté inédit, et que son auteur a bien voulu nous confier.)

(1) Nous avons admis, dans ce qui précède, que la découpe des chênes de futaie se faisait aux deux cinquièmes de la longueur totale, mesurés à partir du sommet; cette hypothèse est très sensiblement exacte. En réalité, la découpe se fait de façon à ce que le diamètre minimum soit d'au moins 0.25 ou 0.30, quelquefois 0.35. La décroissance du diamètre dans le voisinage du sommet est extrêmement irrégulière et variable chez les chênes, de sorte que la longueur de la partie de la tige non utilisable en bois d'œuvre est elle-même variable entre d'assez larges limites; entre 6 et 10 mètres par exemple. Les tiges de sapins ont une forme beaucoup plus régulière dans la cime et la décroissance du diamètre y est plus lente; cependant, la découpe se faisant à 0.15 de diamètre environ il ne reste guère que 5 à 7 mètres, quelquefois moins, de bois non utilisable pour l'œuvre dans le haut de la tige.

(2) On peut remarquer que si l'on admet pour les grumes un facteur de cubage de 0,55, il en résulte que le rapport du diamètre médian au diamètre à hauteur d'homme est de 0.837.



une large mesure, de la forme des arbres, c'est-à-dire de leur âge, des conditions dans lesquelles ils ont crû et aussi du point où l'on fait la découpe. Lorsque celle-ci est placée très près du sommet, comme c'est le cas pour les sapins, qui ont du reste une hauteur totale notablement supérieure à celle qu'atteignent habituellement les chênes, le facteur de cubage peut tomber à 0,45 ou même moins encore. Nous avons vu (page 103) que pour les chênes de taillis il varie, suivant la hauteur des troncs, entre 0,55 et 0,68. M. Roulleau (*op. cit.*) admet que, dans le centre de la France, il est de 0,68 environ pour les chênes très courts que l'on obtient dans des taillis-sous-futaie aménagés de 12 à 18 ans et qu'il passe à 0,60 lorsque les taillis sont coupés vers 25 ans.

Le procès-verbal d'aménagement de la forêt de Villers-Cotterets (1887) renferme une remarque assez curieuse. Dans cette forêt, où les arbres faits ont une hauteur de fût moyenne de 16 mètres, le volume des hêtres, supposés débités en bois de chauffage, est égal à autant de stères que la circonférence mesurée à hauteur d'homme renferme de décimètres en plus de un mètre. Ainsi un hêtre de 1 m. 40 de tour aurait un volume total de 4 stères, celui de 1 m. 70 de tour donnerait 7 stères, etc. Cette règle approximative est très commode et mérite, par suite, d'être retenue. Si nous nous reportons au tarif général de cubage de la forêt de Villers-Cotterets, nous voyons qu'elle donne des résultats un peu faibles pour les arbres de moins de 1 m. 30 de tour, sensiblement exacts pour ceux de 1 m. 30 et plus (1).

(1) Le tarif général de la forêt donne le volume total en mètres cubes des chênes et hêtres, cimeaux compris, en fonction du diamètre mesuré à 1 m. 50 du sol. Nous en avons déduit, par le calcul, le tarif ci-dessous donnant le volume total approximatif en stères en fonction de la circonférence :

Circonférence à 1 m. 50	Volume approximatif	Circonférence à 1 m. 50	Volume approximatif
1 m. 10	2 st. 1	1 m. 70	6 st.
1 20	2 7	1 80	7 5
1 30	3 4	1 90	8 4
1 40	4 1	2 00	9 4
1 50	4 9	2 10	10 4
1 60	5 7	2 20	11 4

III. — Cubage du tronc des sapins et épicéas.

On peut obtenir le volume que fournit, en bois de plus de 0 m. 15 de diamètre, la tige d'un sapin dont le diamètre à hauteur d'homme est D et la hauteur totale H par la formule suivante, due à M. Algan (1).

$$V = 0,33\ D^2H$$

Bien avant M. Algan, M. Reynard avait proposé la formule

$$V = 0,04\ C^2H$$

dans laquelle C représente la circonférence mesurée au douzième de la hauteur totale à partir de la base. Nous avons vérifié que cette formule donne des résultats presque identiques à ceux de la formule Algan, quoiqu'en général un peu plus forts.

Dans un mémoire daté de 1881, M. Vivier (2) avait proposé la formule suivante

$$V = \frac{HD}{10.000.000}(450 + 433\ D - 1,257\ D^2)$$

dans laquelle V est le volume total de la tige sans branches, D le diamètre à hauteur d'homme en centimètres et H la hauteur totale.

Il est évidemment préférable d'exprimer le volume en fonction, non pas de la hauteur totale, mais de celle, h, du bois d'œuvre. On peut alors appliquer la formule suivante, due également à M. Algan (3) :

$$V = \frac{10}{24}\ D^2 h = 0,42\ D^2h$$

ou, plus simplement encore $V = 0,4\ D^2h$, tout en se rappelant que les résultats ainsi obtenus sont plutôt un peu faibles.

Les sapins exploitables ont souvent environ 25 mètres de leur tige utilisable en bois d'œuvre de sorte que le volume du tronc,

(1) *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1890.

(2) *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1881, page 126.— Voir aussi du même auteur : *Etude sur les formes de la tige du sapin*. Colmar, chez Decker, 1870.

(3) Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté. Volume de 1900, page 334.

en appliquant la formule empirique que nous venons de citer, $V = 0,4D^2h$ devient, à la position de la virgule près, $V = D^2$. C'est ainsi que le sapin de 0 m. 50 de diamètre fournit souvent 2 mc. 50 de bois d'œuvre. Si la hauteur diffère de 25 mètres on peut admettre que le volume, à diamètre égal, est proportionnel à la hauteur. Il en résulte que le sapin de 0 m. 50 de diamètre et de 30 m. de bois d'œuvre aura pour son tronc un volume $V = 2.50 \times \frac{30}{25} = 3.5$ mc. De même l'arbre de 0 m. 60 de diamètre a un volume de 3.6 mc. si sa hauteur en bois d'œuvre est de 25 mètres tandis qu'il sera de $3.6 \times \frac{32}{25} = 4.6$ mc., si cette hauteur est de 32 mètres, etc.

Les sapins destinés au sciage dans les Vosges étaient autrefois presque uniquement débités en planches dont le type était la planche 12 × 9 mesurant 12 pieds de long, 9 pouces de large et un pouce d'épaisseur. Actuellement on a fait de ce type une planche de 4 m. de long, de 25 centimètres de large et de 25 millimètres d'épaisseur cubant vingt-cinq décimètres cubes ou un quarantième de mètre cube. On a conservé l'habitude d'estimer directement, en planches types, les arbres sur pied, et il ne sera pas inutile d'indiquer les moyens d'effectuer rapidement cette estimation.

Un tronc de 4 mètres de longueur a un volume égal à $\pi \delta^2$ en appelant δ son diamètre au milieu, ou, sensiblement $3d^2$, d étant le diamètre au gros bout. Si l'on admet qu'un mètre cube donne environ 30 à 35 planches lorsque les tronces à débiter ont un diamètre de 0 m. 40 environ, ce qui est une moyenne, il en résulte que le nombre de planches donné par une tronce est à peu près $100\ d^2$, ou, en ne tenant pas compte de la position de la virgule, d^2. C'est ainsi qu'une tronce de 40 centim. de diamètre au gros bout donne 16 planches, une autre de 60 centim. en donnera 36 ou un peu plus, tandis que celle de 30 centim. en donnera 9 ou un peu moins.

Si d est le diamètre de la tronce du milieu de l'arbre debout,

n le nombre des tronces qui est égal à $\frac{h}{4}$, le nombre des planches, P, sera donc donné par la formule $P = nd^2$.

Or il résulte de ce que le facteur de cubage du tronc est égal à 0,4, comme nous l'avons vu plus haut, que l'on a aussi $D^2 = 2d^2$, D étant le diamètre à hauteur d'homme (1), et, par suite,

$$P = \frac{1}{2} nD^2$$

formule bien connue sous le nom de *formule des planches* que l'on peut du reste écrire directement en partant de la formule du volume

$$V = 0.4\ D^2h = 0.4\ D^2 \times 4n = 1.6\ nD^2$$

si l'on admet que l'on a 32 planches au mètre cube il vient

$$32\ V = P = 1.6 \times 32nD^2 = 0,51\ nD^2 \text{ ou sensiblement } \frac{1}{2}\ nD^2.$$

IV

Pressler a proposé pour le cubage des tiges d'arbres sur pied un procédé basé sur la remarque suivante (2) :

Soit un cône de révolution de hauteur H ayant D pour diamètre à la base. La hauteur H' mesurée à partir de la base, à laquelle le diamètre de section est réduit à $\frac{D}{2}$, est évidemment égale à $\frac{H}{2}$. Il en résulte que, si l'on appelle V le volume du cône, qui est égal à $\frac{1}{3}$ SH, S étant la surface de base, on a aussi :

$$V = \frac{2}{3}\ SH'.$$

(1) On a en effet $\frac{d^2}{D^2} = \frac{K'}{\frac{\pi}{4}}$ en appelant K' le facteur de cubage.

(2) *Tharander forstliches Jahrbuch*, volume de 1855.— *Das Gesetz der Stammbildung.* Leipsig, 1865, pages 83-142.

Soit maintenant un paraboloïde d'Appolonius de base S, de hauteur H. La hauteur H' au-dessus de la base à laquelle le diamètre de section est moitié du diamètre de base est égale à $\frac{3}{4}$ H. Si V est le volume du paraboloïde, on a

$$V = \frac{1}{2} SH \text{ et, puisque } H' = \frac{3}{4} H, \text{ d'où } H = \frac{4}{3} H'$$

$$V = \frac{2}{3} SH'.$$

Si nous considérions un néloïde nous trouverions facilement par le calcul, en employant les mêmes notations :

$$V = 0{,}675 SH' \text{ ou sensiblement } V = \frac{2}{3} SH'.$$

On peut donc admettre la généralité de la formule ci-dessus $V = \frac{2}{3} SH'$; H' étant la hauteur au-dessus de la section de base à laquelle le diamètre est devenu moitié du diamètre de base.

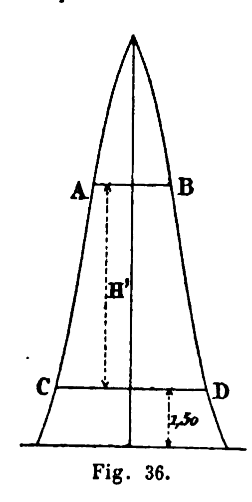


Fig. 36.

Cette formule peut servir à cuber des tiges d'arbres sur pied de la manière suivante :

Soit (fig. 36) CD le diamètre de la section S à hauteur d'homme. La hauteur H' au-dessus de CD à laquelle le diamètre AB est égal à $\frac{CD}{2}$ étant supposée connue, le produit $\frac{2}{3}$ SH' donne le volume de la partie de la tige supérieure à CD. Si l'on admet que la partie du tronc au-dessous de CD a un volume égal à celui d'un cylindre de même hauteur et de base CD (ce qui est du reste sensiblement le volume du bois utilisable de cette partie de l'arbre, déduction faite des copeaux d'abatage) il vient pour le volume total de la tige :

$$V = S\left(\frac{2}{3}H' + 1.50\right)$$

On a souvent vérifié la formule de Pressler. Lorsqu'on opère sur des arbres abattus où la grandeur H' peut être rigoureusement mesurée, on constate entre le volume véritable et celui donné par la formule des différences atteignant au maximum 8 à 9 0/0 d'après Pressler, tandis qu'elles iraient jusqu'à 19 0/0 d'après d'autres (1) et cela même pour les essences dont la forme est le plus géométriquement régulière comme l'épicéa. Lorsqu'on opère sur des arbres debout, l'incertitude du résultat s'accroît par suite de la difficulté que présente la détermination de la grandeur H'. Pressler assure que l'on arrive très facilement à l'estimer à vue avec une exactitude suffisante; on peut du reste s'aider d'instruments du genre des dendromètres Sanlaville qui se prêtent assez commodément à cet usage. En fait le procédé de Pressler n'a jamais été adopté par les praticiens et nous l'aurions passé sous silence si, par suite du bruit dont il a été l'objet (2), il ne tenait encore aujourd'hui une grande place dans tous les ouvrages de dendrométrie publiés à l'étranger. La hauteur H' est souvent très grande, chez presque tous les arbres de futaie âgés elle est supérieure à la hauteur du fût et ne peut être déterminée. De plus, malgré l'assurance qu'on nous donne qu'elle se détermine à vue avec facilité et précision les erreurs peuvent être considérables et entièrement comparables, pour l'estimation d'un arbre en particulier, à celles que donnent les procédés empiriques simples exposés ci-dessus, ou même à la simple estimation directe faite à vue par un praticien expérimenté.

L'on peut aussi, pour cuber des tiges d'arbres sur pied, utili-

(1) Il est certain que la grandeur H', en pratique, n'est pas très rigoureusement déterminée, même sur des arbres abattus, et qu'on peut, suivant l'esprit dans lequel on opère, la faire varier dans des limites assez larges; c'est sans doute ce qui explique la différence entre les résultats de Pressler et ceux obtenus par ses contradicteurs.

(2) Pressler est allé jusqu'à déclarer que son procédé est « le plus simple, le plus sûr et le plus universel qui ait jamais été inventé et *puisse jamais être inventé* ».



sur cette remarque déjà faite par Hossfeld en 1812 que le volume d'une grume est sensiblement égal aux trois quarts du produit de la hauteur par la surface de la section faite au tiers de la hauteur totale mesurée à partir de la base. Il est facile de vérifier cette règle pour un cône droit ou pour un paraboloïde de révolution (1); on peut admettre qu'elle reste approximativement exacte pour des formes intermédiaires. L'emploi de la formule de Hossfeld, sans être assez simple pour devenir pratique, est cependant encore plus facile que celui de la formule de Pressler; M. von Baur assure qu'il donne des résultats supérieurs.

§ 4. — *Cubage des cimes ou houppiers des arbres sur pied.*

Lorsqu'on connaît le volume que fournit, en bois d'œuvre, le tronc d'un arbre, on en déduit le volume de bois de corde (de plus de deux décimètres de tour) et de fagots (menu bois) par un calcul de proportion qui suppose une relation de volume connue entre ces diverses catégories de marchandises. Ce calcul est toujours assez incertain, et les meilleures tables donnent des résultats qui doivent être corrigés, lorsqu'on les applique à un cas particulier, par une appréciation pour laquelle rien ne peut suppléer au coup d'œil du praticien.

Voici cependant quelques-uns des procédés de calcul les plus répandus.

En Lorraine, on admet généralement (2) qu'un **chêne de taillis sous futaie** donne, pour un mètre cube de bois d'œuvre (de 0 m. 25 de diamètre minimum), 0 mc. 50 de bois de chauffage de 0 m. 07

(1) Si σ est la surface de la section faite à la hauteur $\frac{h}{3}$ dans un cône de hauteur h et de base S on a $\sigma = \frac{4}{9}$ S. Or $V = \frac{1}{3} Sh$ d'où $V = \frac{3}{4} \sigma$ H. De même pour le paraboloïde $\sigma = \frac{2}{3}$ S et $V = S \frac{h}{2}$ d'où $V = \frac{3}{4} \sigma h$. La formule est encore très approximativement exacte pour le néloïde.

(2) La durée de la révolution des taillis, qui détermine, avec les qualités du sol, la hauteur de fût et peut la faire varier du simple au double, joue naturellement un très grand rôle.



de diamètre et au-dessus (un stère cimeaux), et 0 mètre cube 08 à 0 mètre cube 10 de menu bois (bourrées en bois de 0 m. 06 de diamètre et au-dessous). On aurait donc, en tant pour cent du volume total : bois fort environ 94 p. 100 ; menu bois 6 p. 100 ; bois d'œuvre 63 p. 100; bois de feu 37. Les charmes, érables et fruitiers, réserves de taillis-sous-futaie, sont estimés à raison de 2/3 ou 67 p. 100 du volume en bois de 0 m. 13 de diamètre et au delà (bois de quartier) et 33 p. 100 en bois de 0 m. 12 et au-dessous.

Le tableau ci-dessous, emprunté à M. Frochot, peut aussi être utilement employé pour déterminer le volume des cimes des arbres de taillis. On voit combien ce volume peut varier suivant les cas (1).

Produit des branches et du houppier dans les taillis sous futaie

DIAMÈTRE à 1.50 du sol	CIRCONFÉR. à 1.50 du sol	NOMBRE DE STÈRES POUR LES ARBRES				NOMBRE de FAGOTS
		très branchus	moyennement branchus	médiocrement branchus	peu branchus	
m.	m.	stère	stère	stère	stère	
0.10	0.31	0.08	0.06	0.05	0.04	1/2
0.15	0 47	0.16	0.12	0.10	0.07	1
0.20	0.63	0.32	0 26	0 20	0.15	1 à 2
0.25	0.78	0.51	0.42	0.32	0.24	2 à 3
0.30	0 94	0.80	0.65	0.50	0.37	3 à 4
0.35	1.10	1.12	0.91	0.70	0.52	4 à 5
0.40	1.26	1.60	1.30	1.00	0.75	5 à 6
0.45	1.41	1.92	1.56	1.20	0.90	6 à 7
0.50	1.57	2.40	1.95	1.50	1.12	7 à 8
0.55	1.73	3.04	2.47	1.90	1.42	8 à 9
0.60	1.88	3 81	3.09	2.38	1.78	10 à 12
0.65	2.04	4.48	3.64	2.80	2.10	12 à 15
0.70	2.20	5.18	4.21	3.24	2.40	15 à 18
0.75	2.36	5.92	4.81	3.70	2.77	18 à 20
0.80	2.51	6.72	5.46	4 20	3.36	20 à 22
0.85	2.67	7.65	6.28	4.78	3.82	22 à 25
0.90	2.83	8.56	6.95	5.35	4.28	25 à 28
0.95	2.96	9.52	7.73	5.95	4.76	28 à 30
1.00	3.14	10.56	8.58	6.60	5.28	30 à 35

(1) *Guide théorique et pratique de cubage et d'estimation des bois.* Paris, Hetzel et Cie, 3e édition, 1890, page 151.

M. Le Chauff(1) donne, pour les chênes de taillis dans le département de l'Allier, les proportions suivantes :

	Bois d'œuvre (de plus de 0.60 de tour).	Bois de corde	Menu bois (de moins de 0.20 de tour).
Chênes de 30 à 80 ans	58 0/0	31 0/0	11 0/0
Chênes de 80 à 120 ans	65 0/0	28 0/0	7 0/0
Vieilles écorces de plus de 120 ans (2).	63 0/0	32 0/0	5 0/0

Voici des chiffres analogues empruntés aux procès-verbaux d'aménagement de quelques forêts connues, traitées en futaie pleine, et peuplées de feuillus.

Dans la *forêt de Bellême*, du département de l'Orne (futaie pleine chêne et hêtre, âge d'exploitation 200 ans, altitude 200 mètres, sol des argiles à silex).

Les chênes ou hêtres donnent, suivant l'état plus ou moins serré des peuplements :

En bois d'œuvre jusqu'à 0 m 25 de diamètre....	de 80 à 93 0/0	de leur volume total
En bois de feu de 0 m. 07 de diamètre et plus..	de 12 à 4 0/0	de leur volume total
fagots (menu bois).......	de 8 à 3 0/0	—

Dans les *forêts de Tronçais*, *Grosbois*, etc., du département de l'Allier (futaies pleines, chêne et hêtre, âges d'exploitation 140 à 180 ans, altitudes 250 à 300 m.; sols, sables argileux du Keuper).

Les chênes et hêtres de 0 m. 25 de diamètre et au-dessus présentent en moyenne :

Bois d'œuvre.........	74 0/0	du volume total.
Bois de feu...........	26 0/0	

Dans la *forêt de Chinon*, du département de l'Indre-et-Loire

(1) *Expériences forestières*, par Le Chauff, inspecteur des forêts à Moulins. 1871-1874 (en manuscrit à la Bibliothèque de l'Ecole forestière).

(2) Les très gros chênes sont souvent plus courts de fût et ont des cimes plus puissantes.

(futaie pleine de chêne très dominant, âge d'exploitation 160 ans, altitude 100 m., argiles de la Sologne).
on estime que les chênes fournissent :

En bois d'œuvre.... 58 0/0 } de leur volume total.
En bois de feu...... 42 0/0 }

Dans la *forêt de Lyons*, départements de l'Eure et de la Seine-Inférieure (futaie pleine de hêtre avec du chêne subordonné, âge d'exploitation 100 à 150 ans, altitude 150 m., sol argilo-siliceux), on admet les proportions suivantes :

NATURE DES PRODUITS	Arbres de 0 m.35 de diamètre et plus			OBSERVATIONS
	Chênes	Hêtres	Charmes	
Bois d'œuvre..............	0.73	0.61	0.51	Ces chiffres résultent de la moyenne d'environ 500 arbres cubés dans la forêt par M. Buffault, Inspecteur des Forêts. (Note manuscrite de M. Buffault adressée en 1882 au Directeur de l'École forestière.)
Bois de corde { bois de quartier...	»	0.07	0.10	
Bois de corde { rondin...........	0.15	0.14	0.19	
Fagots (menu bois).........	0.12	0.18	0.20	

La forêt domaniale de Brotonne, département de Seine-Inférieure, est peuplée de hêtre et aménagée en futaie pleine à l'âge de 150 ans. Elle croît en sol argilo-calcaire à l'altitude d'environ 100 mètres.

Les hêtres y donnent en bois d'œuvre 82 0/0 de leur volume
en bois de feu 18 0/0 —

Dans cette forêt on a compté comme bois d'œuvre les tiges jusqu'à 0 m. 50 de tour. Les *forêts d'Arques et d'Eawy*, voisines de la précédente, renferment une plus forte proportion de chêne. Les conditions de végétation et le traitement sont semblables. On y estime :

		Chênes	Hêtres
à Eawy	bois d'œuvre.........	83 0/0...........	78 0/0
	bois de feu...........	17 0/0.............	22 0/0
à Arques	bois d'œuvre.........	87 0/0.............	81 0/0
	bois de feu...........	13 0/0.............	19 0/0

M. Le Chauff (*op. cit.*) indique les proportions suivantes pour les chênes de la *forêt de Moladier*, département de l'Allier (futaie chêne et hêtre).

	Bois d'œuvre de plus de 0 m. 60 de tour	Bois de corde	Fagots (bois de moins de 0 m. 20 de tour).
Vieille futaie clairiérée	70 à 75 0/0	26 à 21 0/0	4 0/0
— normale	80 0/0	17 0/0	3 0/0
— très serrée	85 0/0	13 0/0	2 0/0

Le procès-verbal d'aménagement de 1846 pour la *forêt de Bercé*, département de la Sarthe (futaie chêne et hêtre), admet les proportions suivantes pour les chênes de 0 m. 60 de diamètre et plus :

Bois d'œuvre............	75,2 0/0
Bois de corde............	18,1 0/0
Fagots (menu bois).......	6,7 0/0

Dans les futaies résineuses (sapin et épicéa) la proportion du bois d'œuvre au volume total est plus forte que dans les feuillus pour deux raisons : d'abord ces essences sont utilisées en bois d'œuvre avec des dimensions beaucoup moindres (à partir de 0 m. 15 à 0 m. 17 de diamètre au petit bout) et ensuite les cimes sont naturellement très peu volumineuses.

Dans les Vosges on estime les cimes des sapins (bois de moins de 0 m. 15 de diamètre) ou 15 à 20 p. 100 du volume total. *Dans le Jura* les chiffres les plus répandus sont de 9 et 10 p. 100.

Toutes ces données ne s'appliquent, bien entendu, qu'à des bois âgés, comme ceux que l'on exploite à titre de produits principaux dans nos futaies.

Dans les peuplements plus jeunes la proportion utilisable en bois d'œuvre diminue rapidement en même temps que l'âge ou le diamètre moyen.

M. Kunze (1) donne pour la proportion du volume des branches de l'épicéa les chiffres suivants :

(1) *Anleitung zur Aufnahme des Holzgehaltes*, etc. 2e édition, Berlin, chez Parey, page 51.

Volume des branches
pour un mètre cube du volume de la tige.

RAPPORT de la hauteur du fût à la hauteur totale	ARBRES AGÉS DE			
	21 à 40 ans	41 à 60 ans	61 à 100 ans	101 à 140 ans
0.9	0.23	0.15	0.09	0.05
0.8	0.25	0.18	0.11	0.07
0.7	0.29	0.22	0.14	0.10
0.6	0.35	0.28	0.17	0.14
0.5	0.42	0.35	0.21	0.18
0.4	0.51	0.44	0.25	0.23
0.3	0.61	0.55	0.30	0.28
0.2	0.73	0.67	»	»

ARTICLE 2. — CUBAGE DES PEUPLEMENTS.

Lorsqu'on doit cuber, en bloc, un grand nombre d'arbres sur pied de la même essence, ayant crû pied à pied, c'est-à-dire sous l'influence des mêmes conditions de sol et de climat, il devient possible d'employer des procédés spéciaux qu'il nous reste à examiner dans ce chapitre.

Il faut commencer par déclarer que *le cubage des peuplements sur pied*, s'il peut être réalisé avec plus d'approximation que celui d'un arbre considéré isolément, n'en reste pas moins *aléatoire et impossible à effectuer d'une façon tant soit peu rigoureuse*. Sa précision relative (1) résulte surtout de ce que les erreurs commises sur chacun des arbres qui le composent étant, *a priori*, de sens quelconque, on peut compter sur une compensation de ces erreurs lorsqu'on opère simultanément sur un grand nombre d'individus. Elle résulte aussi de ce que les arbres d'un même peuplement sont forcément plus semblables entre eux et à un type moyen que ne le sont des individus dissémi-

(1) Ceci s'applique au cubage par la méthode des tarifs. Avec les procédés des stations de recherche allemandes, la compensation ne se produit pas et l'incertitude des résultats est nécessairement plus grande.

nés. Pour cette dernière raison, le cubage des peuplements est surtout facile lorsqu'il s'agit d'essences de formes bien régulières et formant des massifs très homogènes, comme le sont en première ligne les épicéas régénérés artificiellement, et, à un moindre degré, les sapins, les pins, les hêtres; en dernière ligne viennent les chênes et les autres essences de lumière feuillues. Enfin, il est clair que si l'on peut cuber avec quelque chance d'exactitude une jeune pessière bien homogène et régulière il ne sera guère possible d'obtenir un résultat aussi précis pour un peuplement jardiné de sapin ou une vieille futaie claire de feuillus. Dans de pareils peuplements, chaque arbre a sa forme individuelle et ne peut être identifié à un type moyen.

§ 1. — *Estimation à vue du volume des peuplements.*

I

La méthode la plus simple d'estimer le volume d'un peuplement consiste à le parcourir avec attention afin d'apprécier ensuite son volume par la comparaison faite de ses éléments (nombre, diamètre, hauteur des tiges) avec des types de volume connu, dont on a le souvenir gravé dans la mémoire.

Ce procédé exige de l'expérience et un certain don d'observation pour donner de bons résultats. Il est nécessaire que celui qui l'emploie l'ait beaucoup pratiqué et ait eu l'occasion de vérifier ses estimations; de plus, un certain coup d'œil, qu'on peut développer, mais qui doit être inné, est indispensable. Il n'est pas rare de voir de vieux bûcherons se tromper beaucoup, du quart, du tiers, ou même davantage dans l'estimation du volume sur pied de peuplements semblables à ceux qu'ils ont vingt fois déjà abattus et façonnés. De même il est assez fréquent de trouver, parmi les bûcherons intelligents, des hommes qui, dans la forêt où ils ont vécu, estiment avec une certitude remarquable le volume de peuplements et d'arbres debout. On peut parfois admettre de pareilles évaluations comme exactes à cinq ou

dix p. 100 près et cela peut suffire pour des estimations sommaires en argent. Cependant un estimateur — pas plus, nous le verrons plus loin, qu'un tarif de cubage, — ne doit être dépaysé; il n'opère bien que dans les peuplements où il a été formé.

Le procédé à vue est le seul employé, en pratique, pour les taillis ou, en général, pour les peuplements très jeunes. L'opérateur évalue directement en stères, cents de fagots, le volume à l'hectare des peuplements qu'il a parcourus. Il est nécessaire, lorsqu'on veut obtenir quelque certitude, de diviser préalablement la parcelle à estimer en bandes ou *virées* de trente mètres environ de largeur au moyen de lignes parallèles ouvertes à travers le peuplement et d'estimer séparément chaque virée.

On peut quelquefois vérifier les résultats de l'estimation directe en délimitant, dans le peuplement à évaluer, un certain nombre de places d'essai de contenances connues que l'on cube plus exactement par l'un des procédés qui seront indiqués cidessous.

II

Nous avons fait mention, à propos du cubage des troncs d'arbres sur pied, d'un facteur connu en dendrométrie sous le nom de *coefficient de forme du tronc;* c'est le rapport entre le volume du tronc et celui d'un cylindre de même hauteur ayant pour section la section faite dans l'arbre à hauteur d'homme.

Le coefficient de forme, assez variable d'un arbre à l'autre, présente naturellement plus de fixité d'un peuplement à l'autre. Il est alors le rapport entre le volume du peuplement en bois d'œuvre et le produit de la surface terrière du peuplement par la hauteur moyenne en bois d'œuvre des arbres qui le composent. On constate que le coefficient de forme varie surtout avec la hauteur : il diminue à mesure que celle-ci augmente. Il est aussi plus élevé pour les essences formant des massifs serrés que pour les autres.

Lorsque les peuplements, ayant franchement atteint l'âge de fertilité, n'accroissent plus guère leur hauteur, le coefficient de forme devient à peu près constant. Pour les feuillus, dont la découpe se fait à une hauteur relativement faible, il s'élève jusqu'à 0,70 ou 0,72 dans les futaies pleines de chêne; il est, toutes choses égales d'ailleurs, plutôt un peu supérieur dans les massifs bien serrés de hêtre. Pour les sapins et épicéas, dont la découpe se fait beaucoup plus haut, on peut admettre qu'il est d'environ 0,50 à 0,55.

D'autre part on a remarqué depuis longtemps que la surface terrière d'un peuplement d'âge au moins moyen ne variait plus beaucoup avec le temps. Nous verrons, dans l'étude suivante, comment cette grandeur dépend de la nature des essences et des conditions de végétation. Elle est souvent comprise entre 40 et 45 mètres carrés à l'hectare pour les peuplements âgés de chêne ou de hêtre, voisine de 50 ou 55 pour ceux de sapin et d'épicéa. Il en résulte que l'on peut admettre que, pour des peuplements âgés, le volume en mètres cubes du bois d'œuvre à l'hectare est en moyenne égal à vingt-cinq ou trente fois la hauteur en mètres du bois d'œuvre. C'est ainsi qu'une vieille sapinière, dans laquelle les arbres ont une hauteur moyenne de 24 mètres de bois d'œuvre, aura un volume voisin de $24 \times 25 = 600$ mètres cubes à l'hectare, tandis qu'un peuplement de chêne, dont la hauteur en bois d'œuvre serait par exemple de 18 mètres, aurait un volume voisin de $18 \times 30 = 540$ mètres cubes de bois d'œuvre à l'hectare.

Les résultats fournis par cette règle, depuis longtemps connue (1), sans que nous puissions préciser son origine, sont souvent assez exacts pour des peuplements normalement développés ayant dépassé l'âge moyen.

(1) Tout récemment, un forestier allemand, M. Eichhorn (*Ertragstafeln für die Weisstanne*, Berlin, chez Springer, 1902), a essayé de la généraliser en construisant des tables qui donneraient le volume de peuplements de sapin et de hêtre en fonction de leur hauteur seulement, sans égard à leur âge ni à leur diamètre. Un compte-rendu des travaux de M. Eichhorn a paru dans la *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1903, pages 211-213.

§ 2. — *L'inventaire ou le comptage des peuplements.*

Tout procédé plus exact que ceux mentionnés ci-dessus pour déterminer le volume d'un peuplement nécessite un *inventaire* ou *comptage* préalable de ce peuplement. Voici quelques détails sur cette opération.

Les tiges sont classées suivant leur essence et leurs dimensions. On relève leur diamètre à hauteur d'homme et leur hauteur. Les résultats de cet inventaire sont consignés en un tableau auquel on peut donner la disposition suivante.

Diamètres	Hauteurs							
	Sapins				Hêtres			
	20	22	24	etc	20	22	24	etc.
20	11	3			12	5		
25	14				9			
etc								

Chaque arbre est représenté par un point ou un trait et ces signes sont groupés de façon à former des figures correspondant à dix arbres. Le système le plus employé consiste à former une figure de deux files de quatre points superposés verticalement et des diagonales reliant les quatre sommets du rectangle (1).

Pour l'exécution des comptages il est bon de diviser préalablement les peuplements à inventorier en virées de trente mètres environ de largeur. Une équipe ne doit pas comprendre plus de

(1) On a fait d'assez nombreuses tentatives en vue de supprimer l'obligation d'enregistrer les mesurages sur un calepin tenu en forêt par l'emploi de *compas enregistreurs*. Tous ces instruments, parfois fort compliqués, n'ont aucune importance pratique et n'ont jamais été employés en grand. La délicatesse de leur mécanisme, la complication de leur emploi, leur poids, leur prix souvent très élevé, la grande difficulté d'enregistrer à la fois les diamètres et les hauteurs et de distinguer les essences, enfin, et surtout, l'impossibilité absolue, pour celui qui dirige l'opération, de contrôler le travail de l'ouvrier qui tient le compas, ont été, jusqu'à présent, autant d'obstacles insurmontables à leur utilisation. Aussi nous dispenserons-nous d'en décrire aucun dans cette Etude.

trois, au maximum quatre hommes, munis de compas, pour un qui enregistre les résultats. Il faut veiller à ce que tous les arbres soient mesurés à la même hauteur : on y arrive sûrement en repérant cette hauteur sur les vêtements des ouvriers opérateurs. Pour éviter qu'un arbre soit compté deux fois ou qu'il soit oublié, il est nécessaire que celui qui vient de le mesurer le marque d'un signe apparent sur l'écorce. Ces marques se font toutes d'un même côté pour faciliter l'opération.

Ici diverses questions peuvent se poser.

1° Quel est l'intervalle le plus convenable pour séparer les catégories de diamètre? Faut-il mesurer de cinq en cinq centimètres ou avec une approximation plus grande?

Il est bien certain que le degré de précision dans la mesure des diamètres doit être en rapport avec celui de la méthode de cubage. Si celle-ci comporte des erreurs de dix pour cent par exemple, il est bien inutile de poursuivre la détermination du diamètre à un ou deux pour cent près.

Il est également certain que l'approximation doit être plus grande pour des jeunes bois que pour des bois de fort diamètre si l'on ne veut pas que l'erreur relative de mesurage dépasse un taux acceptable.

Les résultats donnés par le cubage seront plus faibles si l'on mesure de cinq en cinq centimètres que si l'on mesurait de quatre en quatre ou de deux en deux parce que le volume de l'arbre ne croît pas proportionnellement au diamètre. Si l'on mesure à 25 millimètres près l'on attribuera le même volume à l'arbre de 38 et à celui de 42 centimètres de diamètre; à savoir celui de l'arbre de 40. Or, ce dernier est moindre que la moyenne des deux précédents (1), et la différence sera d'autant plus grande que l'intervalle des dimensions sera plus grand.

Enfin, la simplification qui consiste à arrondir les diamètres en les mesurant de cinq en cinq ne peut être acceptée que lorsqu'on

(1) Soit V_d le volume d'un arbre de diamètre d, $V_{d+\alpha}$ et $V_{d-\alpha}$ ceux d'arbres de diamètres $d+\alpha$ et $d-\alpha$. On peut admettre, si α n'est pas trop grand, que le volume croît, entre les diamètres considérés, proportionnellement au

mesure un grand nombre d'arbres à la fois de façon à ce que les erreurs de sens divers se compensent.

En fait l'expérience a prouvé que, pour le cubage de peuplements mesurant au moins 0 m. 20 de diamètre moyen, il suffit amplement de mesurer les diamètres de cinq en cinq centimètres. L'erreur qui en résulte, et dont nous avons analysé la cause ci-dessus, est inférieure à celle qui entache nécessairement de pareilles déterminations. C'est ainsi que la différence des surfaces terrières calculées en mesurant de cinq en cinq, puis de deux en deux centimètres, n'est pas plus grande que celle qui résulte de deux mesurages successifs de deux en deux centimètres (1). Mais il ne faut pas oublier que lorsqu'on cube des peuplements très jeunes, de moins de vingt centimètres de diamètre moyen, l'erreur résultant de la mesure de cinq en cinq peut atteindre des proportions intolérables; il faut alors ou bien mesurer les circonférences ou bien employer des compas plus précis.

2° Dans la pratique des cubages, les hauteurs ne se déterminent qu'à un, deux ou parfois même (comme chez les sapins) à quatre mètres près. Une précision plus grande ne peut être utile que pour des opérations faites en vue de recherches scientifiques.

3° L'expérience a prouvé qu'il est inutile, lors des cubages de peuplements pour la pratique, de mesurer plus d'un diamètre sur le même arbre, à moins qu'on n'ait à faire à des individus évidemment très méplats. Lorsqu'on veut faire des cubages très précis on peut mesurer deux diamètres perpendiculaires ou

carré du diamètre, et que l'on a $V_d = Kd^2$ $V_{d+\alpha} = K(d+\alpha)^2$ et $V_{d-\alpha} = K(d-\alpha)^2$

$$\text{d'où } \frac{V_{d+\alpha} + V_{d-\alpha}}{2} = K(d^2 + \alpha^2) = V_d + K\alpha^2$$

ce qui montre bien qu'en substituant le volume V_d au volume moyen des arbres dont le diamètre varie de $d+\alpha$ à $d-\alpha$, on commet une erreur en moins qui croît rapidement avec α.

(1) Ces constatations ont été faites bien souvent, notamment par M. Flury, de la Station de recherches forestières suisse. (Voir *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt*, etc., t. I, pp. 131 et suiv., 323 et suiv., t. II, p. 60, etc.)



encore la circonférence; le premier procédé est généralement adopté par les stations de recherches étrangères, le second est usité à la station de recherches de Nancy.

§ 3. — *Cubage des peuplements au moyen de tarifs.*

L'emploi des tarifs de cubage, tel qu'on le conçoit en France, est basé sur l'hypothèse que des arbres de même origine (1), essence, diamètre et hauteur, ayant crû sur un même point, ont aussi même volume, ou tout au moins un volume ne s'écartant qu'assez peu, en plus ou en moins, d'une moyenne qui peut être exactement déterminée. Cette hypothèse est très admissible surtout lorsqu'il s'agit d'arbres de même âge.

Les méthodes d'aménagement par contenance, très répandues en France, ne comportent le cubage que de peuplements âgés; aussi nos tarifs ne sont-ils établis en général que pour ce cas seulement.

Un tarif de cubage, d'après ce qui précède, *est essentiellement local.* Il donne, en principe, les volumes en fonction du diamètre à hauteur d'homme et de la hauteur; mais on peut quelquefois simplifier davantage encore les choses en construisant des tarifs basés sur le diamètre seulement. Ceux-ci ne peuvent alors être utilisés que dans une région peu étendue et bien homogène.

Souvent les tarifs donnent le volume total des arbres, souvent aussi ils ne donnent que le volume en bois fort (de plus de deux décimètres de tour) ou celui en bois d'œuvre seulement. Dans tous les cas il est nécessaire d'y adjoindre la donnée du rapport de volume qui existe entre les bois de corde, les menus bois (fagots) et le bois d'œuvre et de bien préciser la limite de découpe de ces derniers.

I

Pour construire un tarif de cubage destiné à donner le volume

(1) Provenant d'un même mode de traitement.

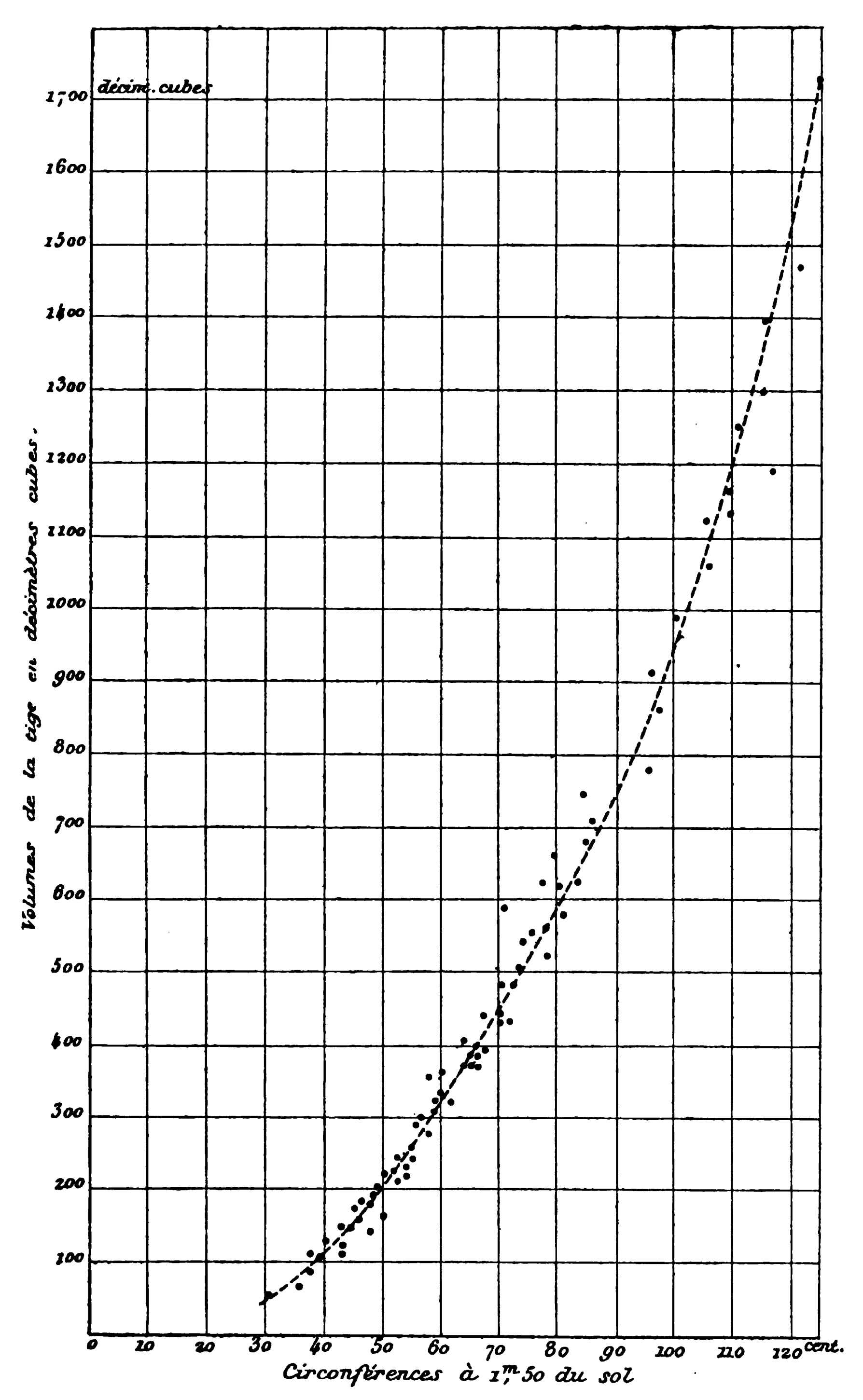


Fig. 37. — Construction d'un tarif de cubage. Tarif construit en 1892 pour le cubage d'un perchis de sapins dans les Basses-Vosges.

en fonction du diamètre seulement on emploie le procédé suivant :

On abat, sur divers points de la région où le tarif doit être appliqué, des arbres de tous diamètres appartenant à l'essence considérée et on détermine avec soin leur volume. On trace ensuite sur une feuille de papier deux axes rectangulaires et on porte en abcisses les diamètres des arbres abattus, en ordonnées les volumes. On obtient ainsi autant de points qu'on a de volumes mesurés. Il arrivera naturellement que les diamètres les plus habituels dans les peuplements à cuber (nous rappelons encore que les tarifs à une seule entrée ne s'appliquent bien qu'à des peuplements de mêmes âges et hauteurs, et particulièrement à de vieux peuplements) fourniront, comme il convient, un plus grand nombre de tiges d'essai.

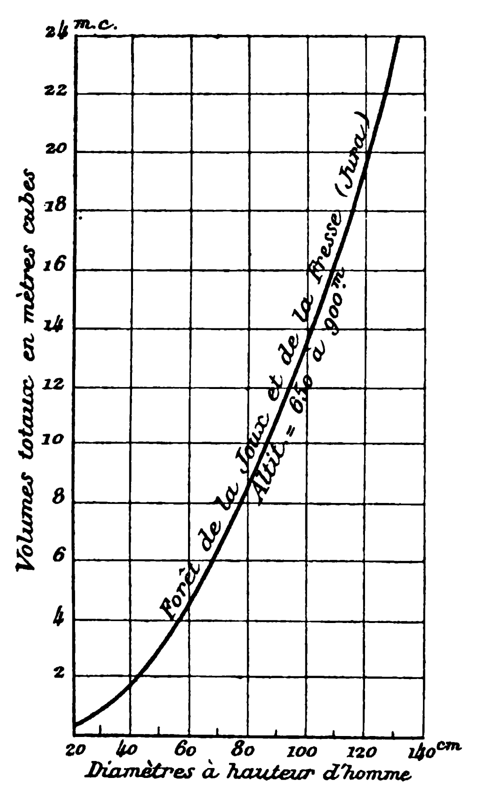


Fig. 38. — Tarif de cubage pour le sapin dans la partie basse de sa station jurassienne (d'après M. de Beer).

On s'efforce alors de tracer une ligne courbe qui tienne une position moyenne entre tous les points. Généralement il n'y a à cela aucune difficulté et la forme de la courbe est nettement indiquée (fig. 37). Il convient, en la traçant, de s'inspirer du sentiment de la continuité, évitant les variations brusques du rayon

de courbure (1). L'expérience a appris que les courbes de l'espèce ont une forme constamment concave vers le haut dont le rayon de courbure et le coefficient angulaire de tangente vont en augmentant à mesure que l'abscisse ou le diamètre augmente (1) (voir fig. 38). Cependant il n'est pas rare de voir ce coefficient angulaire rester constant ou même parfois diminuer pour des diamètres très forts (voir fig. 39 et 40); cela tient à ce que ces arbres de diamètres exceptionnels sont souvent des individus qui ont crû à l'état isolé, ou tout au moins très dégagé, et se trouvent ainsi avoir une hauteur moindre ou une forme plus conique que la moyenne.

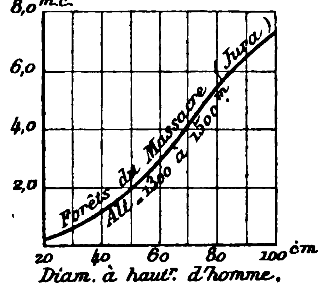


Fig. 39. — Tarif de cubage pour l'épicéa sur les hauts plateaux jurassiens.

Lorsque les points couvrent la feuille de papier sur une zone trop étendue, de limites confuses, en sorte qu'il n'est pas possible de tracer avec précision une courbe moyenne, il faut en conclure que, dans la région où l'on a pris les arbres d'essai, le volume n'est pas une fonction du diamètre seulement, ou bien, ce qui revient au même, que les arbres n'y peuvent pas être cubés au moyen d'un tarif unique et à une seule entrée. Si l'on veut cependant employer un pareil tarif il faut alors restreindre l'étendue de la région où le tarif devra être appliqué, de façon à ce que celle-ci soit plus homogène. C'est ainsi qu'on a souvent été amené à limiter l'aire d'application des tarifs à une entrée à des régions peu étendues, comme par exemple un versant de montagne entre certaines limites d'altitude, un seul canton de forêt, parfois même à un groupe de parcelles seulement. En tout cas il est intéressant de remarquer que ce procédé graphique ne donne de résultats que dans le cas où le pro-

(1) Ce procédé est enseigné par nous depuis 1889 à l'Ecole nationale des Eaux et Forêts. Nous l'avons décrit sommairement en 1892 dans notre livre : *les Arbres et les peuplements forestiers*.

blème comporte vraiment une solution et avertit ainsi l'opérateur des limites dans l'intérieur desquelles le tarif reste applicable.

Une fois la courbe tracée il est facile de faire un tarif numérique en mesurant au compas les volumes correspondant à des diamètres mesurés de quatre en quatre ou de cinq en cinq centimètres.

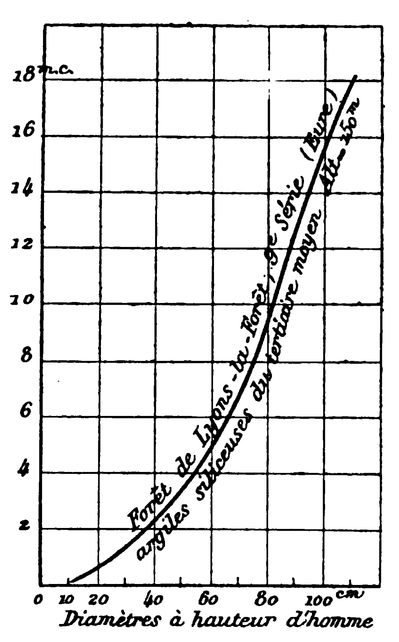


Fig. 40. — Tarif de cubage pour le hêtre, traité en futaie pleine.

Soit y le volume d'un arbre de diamètre x. Le fait de construire un tarif de cubage à une seule entrée revient implicitement à admettre que y peut être considéré comme une fonction de x. Nous avons recherché, en examinant un certain nombre de tarifs établis expérimentalement avec soin, s'il serait possible de déterminer la forme de cette fonction ou d'écrire l'équation de la courbe du tarif. Le calcul des différences montre facilement qu'aucune fonction de la forme $y = ax + b\,x^2 + cx^3 + dx^4 + \ldots$ ne peut exprimer *exactement* la loi de variation de y en fonction de x. Les courbes des tarifs de cubage peuvent cependant, le plus souvent, entre certaines limites (à l'exclusion des parties correspondant à des abscisses ou diamètres inférieurs à 0,35 environ et aux diamètres très élevés) être considérées comme formées de fragments de lignes paraboliques du second degré raccordées entre elles.

C'est ainsi, par exemple, que si nous examinons le tarif donné ci-après (page 133) pour la forêt de la Joux, nous constatons

que la courbe obtenue en portant en abscisses les diamètres, en ordonnées les volumes, présente entre les abscisses (ou diamètres) 0 m. 30 et 0 m. 60 une forme qui se confond presque exactement avec celle d'une parabole dont l'équation serait $y = 16,5\,x^2 - 2\,x$. Entre les diamètres 0 m. 60 et 0 m. 90 la forme est encore *à peu près* celle d'une parabole du second degré, mais d'un paramètre différent. Entre les diamètres 0 m. 90 et 1 m. 20 le courbe se superpose de nouveau presque rigoureusement à un autre arc de parabole dont l'équation serait $y = 15,6\,x^2 - 1,64\,x$. Enfin, à partir du diamètre 1 m. 20, la courbe cesse d'être assimilable à une ligne du second degré.

Ce même fait peut être mis en évidence graphiquement d'une manière très simple, en dehors de tout calcul de différences, par le procédé suivant qui fournit, en même temps, un moyen qui pourra paraître plus facile que celui exposé à la page précédente pour rectifier graphiquement un tarif de cubage. Si, au lieu de porter en abscisses des longueurs proportionnelles aux diamètres on porte des longueurs proportionnelles *aux carrés* des diamètres, par exemple les surfaces terrières, on obtient, en portant en ordonnées les volumes correspondants, des séries de lignes presque droites raccordées entre elles (voir fig. 41), ce qui nous montre, comme nous venons de l'exposer, que, entre certaines limites de diamètre, le volume varie proportionnellement au carré de ce diamètre. Cela est à peu près exact pour des arbres de futaie de dimension moyenne. Chez les arbres jeunes le volume croît plus rapidement que le carré du diamètre, moins vite pour des arbres très âgés.

Les lignes quasi-droites qu'on obtient en portant en abscisses les surfaces terrières lors de la construction graphique d'un tarif sont sans doute plus faciles à tracer et à régulariser que les courbes paraboliques obtenues en portant en abscisses les diamètres. Il peut en résulter, surtout pour ceux qui n'ont pas « le sentiment de la courbe », plus de facilité pour procéder à la rectification graphique des tarifs par l'emploi des abscisses égales à la surface terrière. C'est surtout pourquoi nous en parlons ici.

Nous avons fait remarquer à diverses reprises qu'on s'exposerait à de graves erreurs si l'on cubait, avec un même tarif en fonction des diamètres seulement, des peuplements de hauteurs ou même simplement d'âges différents. Avec l'âge la hauteur

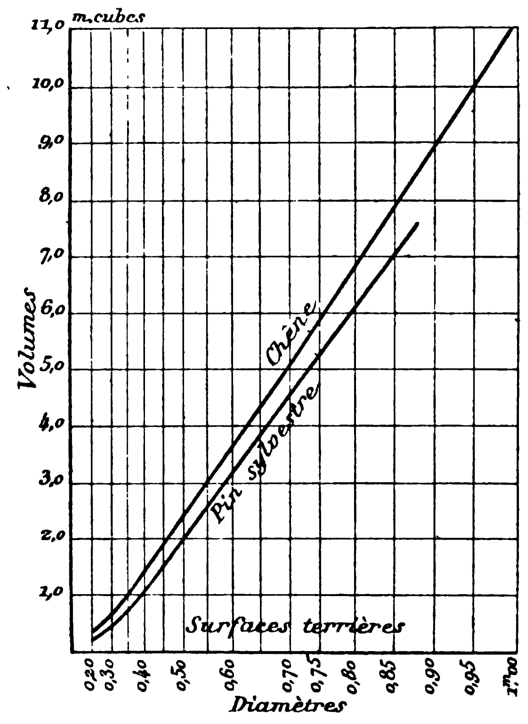


Fig. 41. — Variation du volume total d'arbres en fonction de la surface terrière ou du carré du diamètre.
Chêne. Tarif de la forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle), par Nanquette et Bagnéris. — *Pin sylvestre*. Tarif pour les Basses-Vosges, par Crouvizier.

des arbres augmente *pour un même diamètre*, surtout dans les peuplements de croissance rapide (1). De plus des arbres, de trente centimètres de diamètre par exemple, pouvaient être prédominants dans un jeune peuplement et avoir la forme de tige caractéristique de cette catégorie, tandis que, dans le même peuplement, vingt ans plus tard, les arbres de trente centimètres

(1) Dans une sapinière des Basses-Vosges inventoriée par nous en 1894 les arbres de 80 centimètres de tour avaient une hauteur moyenne de 21 m. 95. Six ans plus tard, dans le même peuplement, les arbres de 80 de tour mesuraient 23 m. 75 de haut.

seront des arbres retardataires, ou même dominés, peut-être depuis longtemps, dont le coefficient de forme est en général notablement plus élevé (1). La figure ci-dessous (fig. 42), que

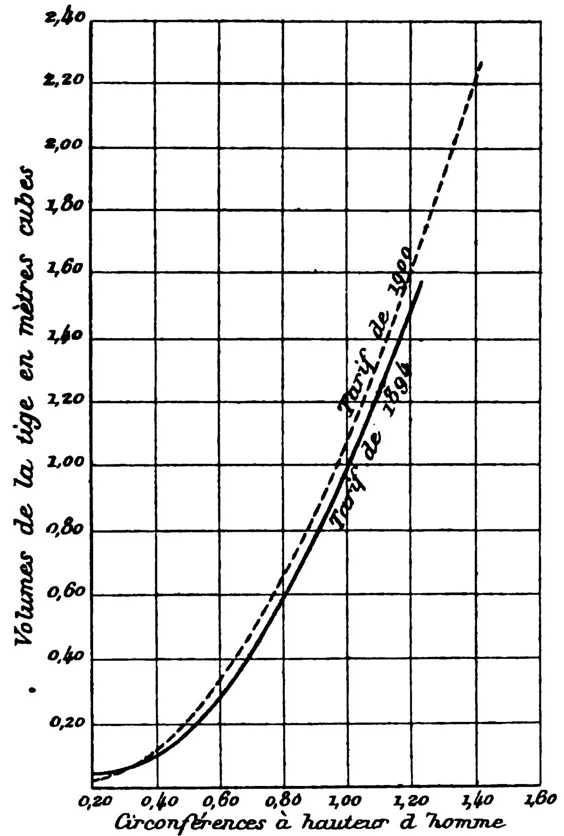


Fig. 42. — Tarifs de cubage successifs d'un même peuplement à six années d'intervalle (sapinière âgée d'environ 80 ans en 1894).

nous empruntons à une publication récente de la station de recherches de Nancy (2), met en évidence ce fait de la variation des tarifs applicables à un peuplement en croissance à diverses époques de sa vie. Lorsque les peuplements sont âgés, les variations du volume correspondant à un même diamètre sont beaucoup plus lentes avec le temps.

(1) Dans cette même sapinière (mentionnée à la note précédente), en six ans, le coefficient de forme des arbres de 71 centimètres de tour et de 21 m. 40 de hauteur avait passé de 0.537 à 0.621.

(2) Voir aussi plus loin, fig. 45, page 144.

Il ne sera pas sans intérêt de reproduire ici quelques tarifs de cubage à une seule entrée usités dans diverses forêts françaises. Ces tarifs ont été rectifiés graphiquement, d'après des calculs faits par les commissions d'aménagement.

DIAMÈTRE à hauteur d'homme	TARIFS DE CUBAGE POUR LE CHÊNE								
	FORÊTS TRAITÉES EN FUTAIE PLEINE				FORÊTS TRAITÉES EN TAILLIS-SOUS-FUTAIE OU EN CONVERSION				
	Tronçais (Allier) — Volume total	Bellême (1) (Orne) — Volume du bois d'œuvre	Bercé (2) (Sarthe) — Volume total		Bains (3) (Vosges) — Volume total	La Reine(4) (Meurthe-et-Moselle) — Volume total	Haye (5) (Meurthe-et-Moselle) — Volume total	Chaux (6) (Jura) — Volume total
mètres	mèt. cubes	mèt. cubes	mètres cubes		mèt. cubes	mèt. cubes	mèt. cubes	mèt. cubes
0.20	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.25	0.2
0.25	0.5	0.3	0.6	0.6	0.6	0.5	0.45	0.35
0.30	0.9	0.6	1.0	1.0	0.9	0.8	0.65	0.6
0.35	1.3	1.2	1.5	1.4	1.3	1.1	0.95	0.95
0.40	1.8	1.8	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.3
0.45	2.3	2.4	2.7	2.5	2.3	1.9	1.7	1.7
0.50	2.9	3.0	3.4	3.1	3.0	2.4	2.2	2.2
0.55	3.5	3.7	4.2	3.75	3.8	3.0	2.8	2.7
0.60	4.2	4.5	5.0	4.5	4.65	3.7	3.5	3.3
0.65	5.0	5.3	5.9	5.3	5.4	4.5	4.2	3.9
0.70	5.8	6.15	6.9	6.2	6.5	5.4	5.0	4.5
0.75	6.7	7.0	7.9	7.2	7.5	6.4	5.9	5.2
0.80	7.6	8.0	9.0	8.3	8.6	7.6	6.8	6.0
0.85	8.6	9.2	10.2	9 5	9.7	8.6	7.75	6.9
0.90	9.6	10.4	11.4	10.8	11.0	9.8	8.8	7.9
0.95	10.7	11.7	12.5	12.2	»	10.8	9.8	9.1
1.00	11.8	12.9	13.5	13.5	»	11.8	10.9	10.3
1.05	13.0	14.0	»	»	»	»	»	»
1.10	14.2	15.1	»	»	»	»	»	»
1.15	15.5	»	»	»	»	»	»	»
1.20	16.8	»	»	»	»	»	»	»
1.25	18.1	»	»	»	»	»	»	»
1.30	19.5	»	»	»	»	»	»	»

(1) Ce tarif s'applique au canton de Pont-à-la-Dame, un des plus beaux de la forêt. Il a été établi par M. Dagoury (1859).

(2) Le premier tarif indiqué pour Bercé s'applique aux meilleurs cantons de la forêt (Les Clos). Le second aux belles parties moyennes (A² de la VIIIe série; A¹, B¹, B² de la IIe série). Ils datent de 1843.

(3) Forêt croissant sur les sols argileux profonds du grès bigarré. Tarif de M. Poivre (vers 1869).

(4) Forêt croissant sur des argiles oxfordiennes compactes à l'altitude de 250 mètres environ. Tarif de M. Marchal (vers 1857).

(5) Forêt croissant sur l'oolithe inférieure, à l'altitude de 300-400 mètres en sol généralement peu profond et exposé à se dessécher. Tarif de MM. Nanquette et Bagnéris (1860).

(6) Ce tarif a été rectifié, d'après les tarifs d'aménagement de forêts croissant sur les terrains siliceux très fins, très compactes, souvent mouilleux, d'une partie de la Bresse (altitudes 200 à 300 mètres).

DIAMÈTRES à hauteur d'homme	TARIFS DE CUBAGE POUR LE HÊTRE				TARIFS DE CUBAGE POUR LE SAPIN		TARIF de cubage pour l'épicéa
	FORÊT EN CONVERSION	FORÊTS TRAITÉES EN FUTAIE					
	Moyeuvre(1) (Meurthe-et-Moselle) — Volume total	Lyons (2) (Seine-Inférieure) — Volume total	Gérardmer (3) (Hautes-Vosges) — Volume total	Grosbois(4) (Allier) — Volume total	La Joux (5) (Jura moyen) — Volume total	Gérardmer (Hautes-Vosges) — Volume total	(6) Le Massacre (Haut-Jura) — Volume total
mètres	mètres cubes	mèt. cubes	mèt. cubes	mèt cubes	mèt. cubes	mèt. cubes	mètres cubes
0.20	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.25
0.25	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.45
0.30	0.8	1.0	0.85	0.85	0.9	0.7	0.65
0.35	1.1	1.5	1.2	1.3	1.3	1.1	0.9
0.40	1.5	2.1	1.7	1.7	1.8	1.5	1.2
0.45	2.0	3.0	2.2	2.6	2.4	2.0	1.6
0.50	2.6	3.8	2.9	3.5	3.1	2.5	2.0
0.55	3.3	4.4	3.6	3.7	3.9	3.1	2.5
0.60	4.1	5.1	4.4	4.5	4.8	3.7	3.0
0.65	5.0	5.7	5.4	5.0	5.7	4.4	3.6
0.70	6.0	6.3	6.4	6.0	6.7	5.2	4.2
0.75	7.1	7.4	7.6	6.8	7.7	6.0	4.9
0.80	8.3	8.6	8.85	7.9	8.8	6.9	5.7
0.85	9.7	9.8	10.2	»	10.0	7.8	6.1
0.90	11.1	11.4	11.7	»	11.2	8.8	6.5
0.95	12.7	13.0	13.2	»	12.5	9.9	7.0
1.00	14.3	14.2	14.9	»	13.9	11.0	7.4
1.05	15.7	»	16.7	»	15.4	12.1	»
1.10	16.6	»	18.6	»	17.0	13.3	»
1.15	»	»	»	»	18.7	14.4	»
1 20	»	»	»	»	20.5	15.6	»
1.25	»	»	»	»	22.4	»	»
1.30	»	»	»	»	24.5	»	»
1.35	»	»	»	»	27.0	»	»
1 40	»	»	»	»	30.0	»	»

(1) Forêt croissant sur l'oolithe inférieure, en sol calcaire-argileux généralement assez profond. Altitude 300 mètres environ. Elle est traitée en vue de sa conversion de taillis-sous-futaie en une futaie pleine. Tarif de M. Marchal (vers 1862).

(2) Forêt croissant sur des argiles sableuses (argiles à silex) superposées à la craie, à des altitudes de 100 à 200 mètres, près de l'embouchure de la Seine. Elle est traitée en futaie pleine. Le tarif reproduit ici s'applique au canton de la Marlière-au-Roi, de la 6e série.

(3) Forêt croissant sur terrain granitique, à des altitudes de 600 à 1000 mètres. Elle est traitée en jardinage sur la plus grande partie de son étendue. Tarif de M. Crouvizier (vers 1880).

(4) Forêt croissant sur le grès bigarré et les argiles de Keuper, à l'altitude de 300 mètres. Elle est traitée en futaie pleine.

(5) Forêt croissant sur des calcaires coralliens fissurés et, en partie, sur des argiles oxfordiennes, entre 630 et 900 mètres d'altitude (voir 1er volume, p. 350).

(6) Le massif dit du Massacre est formé de diverses forêts communales croissant dans le Haut-Jura sur des calcaires portlandiens à l'altitude de 1300 à 1500 mètres. Ces forêts sont réputées pour l'excellente qualité de leurs bois d'épicéa à accroissements très fins et réguliers, qui sont employés pour la fente et particulièrement pour la lutherie (bois de résonnance).

II

On peut étendre beaucoup l'aire d'application d'un tarif, et le rendre même applicable dans une certaine mesure à des peuplements d'âges variés, en l'établissant à deux entrées, c'est-à-dire de façon à indiquer le volume en fonction du diamètre et de la hauteur tout à la fois. Pour construire de pareils tarifs on opère de la façon suivante :

On fait abattre, dans la région où le tarif doit être appliqué, un certain nombre d'arbres d'un même diamètre, de 0 m. 40 par exemple, et de hauteurs diverses; on en détermine le volume. On trace sur une feuille de papier deux axes de coordonnées, on porte en abcisses les hauteurs et en ordonnées les volumes correspondants. On obtient ainsi, par un procédé entièrement identique à celui exposé ci-dessus, une courbe qui exprime la loi de variation du volume des arbres de 0 m. 40 de diamètre avec la hauteur, c'est-à-dire le volume que présentent ces arbres pour des hauteurs variant de deux mètres en deux mètres ou de quatre mètres en quatre mètres. Opérant ainsi successivement pour toutes les catégories de diamètres, on obtient tous les éléments du tarif à deux entrées qu'on veut construire.

Il est rare qu'on ne puisse pas simplifier beaucoup la construction des tarifs à deux entrées grâce à la remarque suivante.

Lorsqu'on construit par points la courbe exprimant la loi de variation du volume avec la hauteur pour des arbres de même diamètre (et, bien entendu, de même essence, ayant, de plus, crû dans des conditions de sol, de climat et de traitement identiques), on obtient des lignes à rayons de courbure très grands. Ces lignes se rapprochent assez de lignes droites pour qu'on puisse habituellement, sans erreur par trop forte, leur substituer de pareilles lignes et admettre que les volumes croissent comme une fonction du premier degré des hauteurs (voir fig. 43 et 44).

Si l'on admet de plus que les lignes droites en question pas-

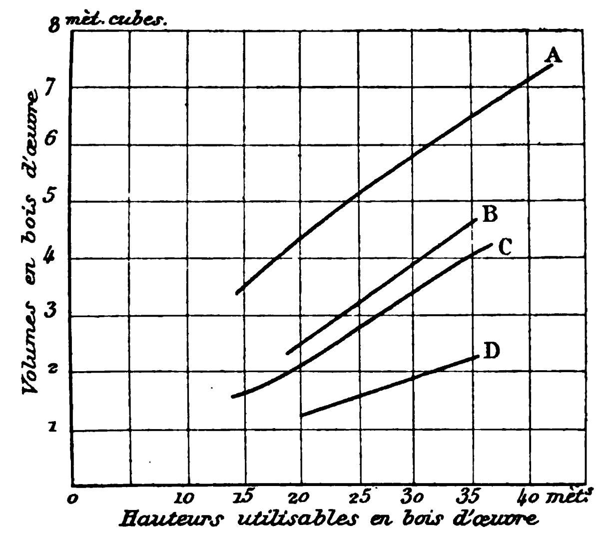


Fig. 43. — Variation, avec la longueur de la pièce utilisable en bois d'œuvre (ou hauteur du tronc), du volume en bois d'œuvre de sapins.

A. Arbres de 2 m. 20 de tour (Tarif de la commission d'aménagement du Doubs); — B. Arbres de 0 m. 60 de diamètre (Tarif Vivier pour les Hautes-Vosges); — C. Arbres de 0 m. 50 de diamètre (Tarif de la commission d'aménagement du Jura); — D. Arbres de 0 m. 40 de diamètre (Tarif Vivier pour les Hautes-Vosges).

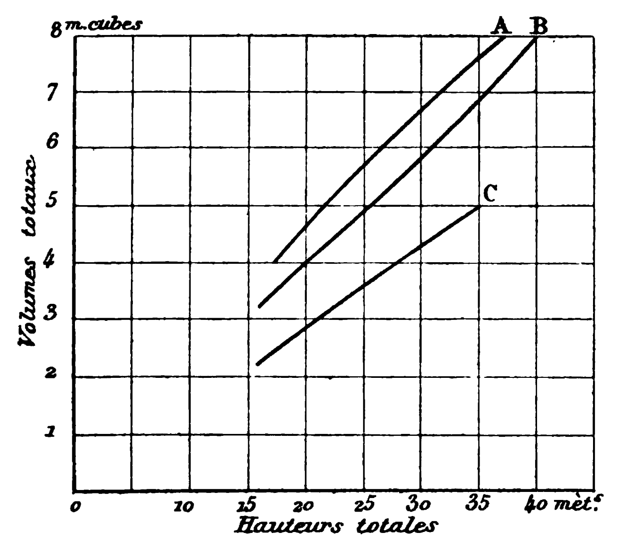


Fig. 44. — Variation, avec la hauteur totale, du volume total de sapins et de chênes.

A. Sapins de 0 m. 70 de diamètre, forêt des Elieux (premiers contreforts des Basses-Vosges). Tarif par Marchal, 1860; — B. Chênes de 0 m. 70 de diamètre, forêt de Bercé. Tarif par Coursy, Micard et Granier; — C. Sapins de 0 m. 60 de diamètre, forêt des Elieux. Tarif Marchal.

sont par l'origine des coordonnées, c'est-à-dire que le volume des arbres de même diamètre est proportionnel à leur hauteur (1).

Table donnant les volumes en bois d'œuvre pour un mètre de la longueur du tronc (2).

DIAMÈTRES à hauteur d'homme	CHÊNES DE FUTAIE (3)	CHÊNES DE TAILLIS (4)	SAPINS (5) des Vosges moyennes
mètres	mètres cubes	mètres cubes	mètres cubes
0.20	0.022	0.02	0.018
0.25	0.034	0.03	0.028
0.30	0.049	0.05	0.040
0.35	0 067	0.07	0.054
0.40	0.088	0.09	0.070
0 45	0.111	0.11	0.087
0.50	0.137	0.14	0.105
0.55	0.166	0.17	0.125
0.60	0.198	0.20	0.145
0.65	0.232	0.24	0.167
0.70	0.269	0.28	0.191
0.75	0.309	0.32	0.215
0.80	0.352	0.36	0.237
0.85	0.397	0.41	0.259
0.90	0.445	0.46	0.279
0.95	0.496	0.51	0.297
1.00	0.550	0.57	0.313

(1) L'emploi de tarifs donnant le volume par mètre courant, qui suppose implicitement que le volume d'arbres de même diamètre croît proportionnellement à leur hauteur, est assez ancien en France ; il remonte au moins à 1856 et sans doute bien au delà. Vivier a vérifié le fait avec beaucoup de soin pour le sapin des Vosges dans son *Etude sur la forme de la tige des sapins* où il déclare : « des arbres de même diamètre à 1 m. 50 du sol ont leurs volumes sensiblement proportionnels aux hauteurs. » (Colmar, chez Decker, 1870.

(2) Nous rappelons que le tronc est la partie de la tige utilisable comme bois d'œuvre. C'est ainsi que, se servant du tarif pour la forêt de Haye (chênes de taillis), si on avait à cuber 50 chênes de 0 m. 40 de diamètre à hauteur d'homme mesurant chacun 10 mètres de tronc, plus 60 autres chênes de même diamètre et de hauteur de tronc égale à 12 mètres, on aurait pour volume total $(10 \times 50 + 60 \times 12)\ 0.09 = 109$ mc. 80.

(3) Ce tarif a été publié par d'Auvergne en 1856 (au bazar forestier, rue de l'Arbre-Sec, 46, Paris). Il a été établi, non pas expérimentalement, mais dans l'hypothèse que la section médiane de la pièce à cuber est égale aux sept dixièmes de la section à hauteur d'homme. Nous le reproduisons ici bien qu'il ne constitue pas véritablement un tarif d'expérience, parce qu'il est le plus ancien à notre connaissance, qui donne le volume par mètre courant pour les arbres sur pied. Une seconde édition de ce tarif a été publiée en 1896 par M. Roulleau, inspecteur des Forêts.

(4) Tarif établi pour la forêt de Haye en 1860 par Nanquette et Bagnéris.

(5) Tarif de la Commission d'aménagement des Vosges.

il devient possible de simplifier considérablement le dispositif des tarifs et de les rendre d'un emploi beaucoup plus commode en substituant aux tarifs à deux entrées des *tables donnant le volume par mètre courant* pour chaque catégorie de diamètre.

Nous reproduisons ci-contre (page 136) quelques-uns de ces tarifs, à titre d'exemples, en faisant encore remarquer que de pareilles tables ne sauraient, en aucun cas, donner des résultats aussi précis que des tarifs à double entrée. Elles sont d'un usage commode pour le cubage rapide approximatif d'un grand nombre d'arbres et méritent, à ce titre, d'être mentionnées ici.

Voici enfin quelques exemples de tarifs de cubage à double entrée.

Tarif de cubage pour le sapin (1).

(Volumes et hauteurs du tronc)

Circonférences à 1m.30	HAUTEURS EN BOIS D'ŒUVRE OU DU TRONC								
	12m	16m	20m	24m	28m	32m	36m	40m	44m
mètres	m cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cub.
0.80	0.6	0.65	0.7	»	»	»	»	»	»	»
1.00	0.7	0 8	1.1	»	»	»	»	»	»	»
1.20	0.9	1.2	1.4	1.6	1.8	»	»	»	»	»
1.40	1.3	1.6	1.9	2.2	2.4	2 7	»	»	»	»
1.60	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4	3.8	»	»	»
1 80	»	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.65	5.05	»	».
2.00	»	3.2	3 65	4.1	4.6	5.1	5.6	6.05	»	»
2.20	»	3.7	4.2	4 9	5.4	6.0	6.6	7.1	7.4	7.6
2.40	»	4.4	5.05	5.7	6.3	7.0	7.6	8.2	8.6	8.8
2.60	»	5.1	5.8	6 5	7.25	8.0	8.7	9.4	9.8	10.1
2.80	»	5.8	6.6	7.4	8.2	9 0	9.8	10.6	11.0	11.4
3.00	»	»	7.5	8.4	9.3	10.15	11.0	11.9	12.35	12.8
3.20	»	»	8.4	9.4	10.3	11.3	12.25	13.2	13.7	14.2
3.40	»	»	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15 1	15.6
3 60	»	»	10 2	11.4	12.5	13.65	14.8	15.9	16.5	17.1
3 80	»	»	11.1	12.4	13.6	14.9	16.1	17.35	18.0	18.6
4 00	»	»	12.0	13.4	14.8	16.15	17.5	18.9	19.5	20.2
4.20	»	»	12.85	14.45	15 95	17.45	19.0	20.5	21.25	21.8

(1) Le tarif que nous reproduisons ici a été construit à une époque que nous



Tarif de cubage pour les sapins et épicéas (1).

(*Volumes et hauteurs du tronc*)

Circonférences à 1m.50 du sol	HAUTEURS EN BOIS D'ŒUVRE OU DU TRONC								
	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m
mètres	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes
0.80	0.30	0.36	0.42	0.50	0.60	»	»	»	»
0.90	0.39	0.44	0.52	0.62	0.75	0.80	»	»	»
1.00	0.48	0.53	0 63	0.75	0.89	0.95	1.00	»	»
1.10	0.58	0.65	0.75	0.89	1.04	1.10	1.15	1.32	»
1.20	0.69	0.79	0.90	1 04	1.19	1.27	1.35	1.51	»
1.30	0.80	0.93	1.05	1.20	1.35	1.45	1.55	1.73	»
1.40	0.91	1 07	1.23	1.37	1.50	1.64	1.75	1.97	»
1.50	1.02	1.24	1.46	1.57	1.70	1.85	2.00	2.25	2.51
1.60	1.14	1.41	1 69	1.82	1.95	2 12	2.30	2.56	2.82
1.70	»	»	1.92	2.10	2.25	2.44	2.65	2.90	3.16
1.80	»	»	2.15	2.38	2.60	2.76	3.00	3.25	3.54
1.90	»	»	2 38	2.65	2.90	3.06	3.33	3.59	3.89
2.00	»	»	2.61	2.91	3.15	3.36	3.63	3.92	4.23
2.10	»	»	»	»	3.35	3.64	3.91	4.14	4.56
2.20	»	»	»	»	3.55	3.89	4.16	4.44	4.88
2.30	»	»	»	»	»	»	4.41	4.73	5.20
2.40	»	»	»	»	»	»	4.61	5.01	5.50
2.50	»	»	»	»	»	»	4.81	5.29	5.80

ne pouvons préciser, mais qui est en tout cas notablement antérieure à 1867, par la Commission d'aménagement du Doubs au moyen de cubages d'arbres effectués dans la forêt de Levier. On l'emploie actuellement dans toute l'étendue de la Conservation forestière de Besançon. Il passe, parmi les praticiens, pour bon dans son application à des arbres de massifs éclaircis ; ses chiffres sont un peu faibles pour les arbres provenant de futaies très denses et sensiblement trop forts pour les arbres ayant poussé à l'état isolé. Nous l'avons soumis à une rectification graphique pour en faire disparaitre quelques irrégularités dont il était entaché. L'original, que nous avons sous les yeux, porte les volumes avec deux décimales et les hauteurs de deux mètres en deux mètres.

(1) Ce tarif a été construit avec le plus grand soin par M. Le Chauff, vers 1866. Il s'applique aux sapins et épicéas « arbres courts et coniques (à décroissance rapide) des sommets et des parties très hautes des versants, » dans la Maurienne. Il est encore employé aujourd'hui pour le cubage des arbres, particulièrement des épicéas, croissant aux hautes altitudes, dans l'Inspection de Saint-Jean-de Maurienne. L'original, que nous avons sous les yeux, porte les volumes avec deux décimales et les hauteurs de mètre en mètre. Il existe un autre tarif, également dû à M. Le Chauff, qui s'applique, dans la Maurienne, « aux arbres des vallons et parties basses de versants abrités ».

Tarif de cubage pour les chênes de futaie pleine (1).

(*Volumes et hauteurs totaux*)

Diamètre à hauteur d'homme	HAUTEURS TOTALES DES ARBRES											
	12m	16m	20m	22m	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m
mètres	mètr. cubes	mètr. cubes	mètr. cubes	mètr. cubes	mèt. cub.	mètres cubes	mètres cubes	mètr. cubes	mètres cubes	mètres cubes	mètres cubes	mètr. cubes
0.20	0.20	0.3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.25	0.30	0.4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.30	0 45	0.6	0.75	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.35	0.6	0.8	1.0	1.2	»	»	»	»	»	»	»	»
0.40	0.8	1.05	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	»	»	»	»
0 45	1.0	1.35	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	»	»
0 50	1.2	1.65	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	»	»
0.55	1.5	1.95	2.4	2.7	2.9	3.15	3.4	3.6	3.9	4.1	»	»
0.60	»	2.3	2.9	3.2	3.5	3.75	4.0	4.3	4.6	4.9	»	»
0.65	»	2.7	3.4	3.7	4.1	4.4	4.7	5.1	5.4	5.75	»	»
0.70	»	3.2	4.0	4.3	4.8	5.15	5.4	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5
0.75	»	3.65	4.55	5.0	5.5	5.9	6.3	6.8	7.25	7.7	8.15	8.6
0.80	»	4 15	5.2	5.7	6.2	6.7	7.2	7.7	8 25	8.8	9.3	9.8
0.85	»	4.7	5.8	6.4	7.0	7.6	8.1	8.7	9.3	9.9	10.45	11.0
0.90	»	»	6.5	7.2	7.8	8.5	9.1	9.8	10.4	10.1	11.7	12.4
0 95	»	»	7.3	8.0	8.7	9.4	10.2	10.9	11.6	12 3	13.0	13.8
1.00	»	»	8.1	8.85	9.7	10.45	11.25	12.0	12.85	13.65	14 4	15.3

§ 4. — *Méthodes des Stations de recherches pour le cubage précis de peuplements sur pied.*

I

Les procédés décrits dans les paragraphes précédents suffisent amplement aux cubages de peuplements pour la pratique des aménagements ou des estimations.

Les stations de recherches forestières, en vue de leurs études

(1) Ce tarif, qui nous a été communiqué par M. Roulleau, inspecteur des Eaux et Forêts au Mans, est un des plus anciens et des plus parfaits que nous ayons eu sous les yeux. Nous n'avons eu à lui faire subir que des modifications très rares et tout à fait insignifiantes lorsque nous avons entrepris sa rectification graphique. Il a été établi, en 1843, par la commission chargée de l'aménagement de la forêt de Bercé (Sarthe) dont les membres étaient MM. de Coursy, inspecteur, Micard et Granier, gardes généraux des Forêts. L'original donne les volumes avec trois décimales. Il peut être considéré comme un *tarif type* pour les futaies de chêne du centre nord-occidental de la France.

sur la croissance des peuplements, ou de l'influence sur cette croissance d'opérations culturales telles que l'éclaircie, ont souvent besoin de déterminer, avec toute la précision possible, les volumes successifs d'un peuplement à des intervalles de temps parfois assez rapprochés.

La Station de recherches de Nancy opère de la façon suivante (1) :

Les tiges des arbres formant le peuplement de la place d'essai à cuber sont entourées, à hauteur d'homme, d'une ceinture de couleur à l'huile noire appliquée après qu'on a très légèrement aplani l'écorce. Sur cette ceinture se trouve inscrit, avec une couleur à l'huile blanche, le numéro d'ordre de l'arbre. La présence de la ceinture au corps de l'arbre assure les mesurages successifs au même point, exactement. Le numérotage de tous les arbres est indispensable d'abord pour éviter les erreurs matérielles lors des inventaires (omissions ou doubles emplois, erreurs de mesurage ou de pointage) et ensuite pour pouvoir se rendre un compte exact de la façon dont chaque arbre ou classe d'arbres se comporte en particulier aux divers points de vue que l'on veut étudier. On mesure toujours les circonférences sur les ceintures, à hauteur d'homme et à un demi-centimètre près, c'est-à-dire qu'on les exprime en nombres entiers de centimètres. Les hauteurs se mesurent avec une échelle spéciale lorsqu'elles ne dépassent pas une quinzaine de mètres, au dendromètre dans le cas contraire.

Pour arriver au volume on se sert de tarifs construits spécialement chaque fois suivant le procédé exposé plus haut (voir page 124, fig. 37 et fig. 46). Les tiges d'essai sont, autant que possible, prises dans le peuplement lui-même ou dans la zone d'isolement, traitée de la même façon que lui, qui l'entoure. On a

(1) Ce procédé est suivi à Nancy, d'après nos indications, depuis une quinzaine d'années que nous participons aux travaux de la station de recherches. Les premières tentatives de tracés graphiques à propos de cubage paraissent avoir surgi à l'étranger en Autriche, en 1891 (voir un article de M. Kopezky dans le *Centralblatt für das gesammte Fortswesen* de 1891, page 307), et en Allemagne en 1893 (*die Wachstumsgesetzte des Hochwaldes*, par M. Speidel, Tubingue, 1893).

soin de profiter de tous les abatages faits lors des éclaircies pour construire chaque fois de nouveaux tarifs, l'expérience ayant montré avec quelle rapidité ceux antérieurement établis cessent d'être utilisables dans un jeune peuplement (fig. 45, voir de

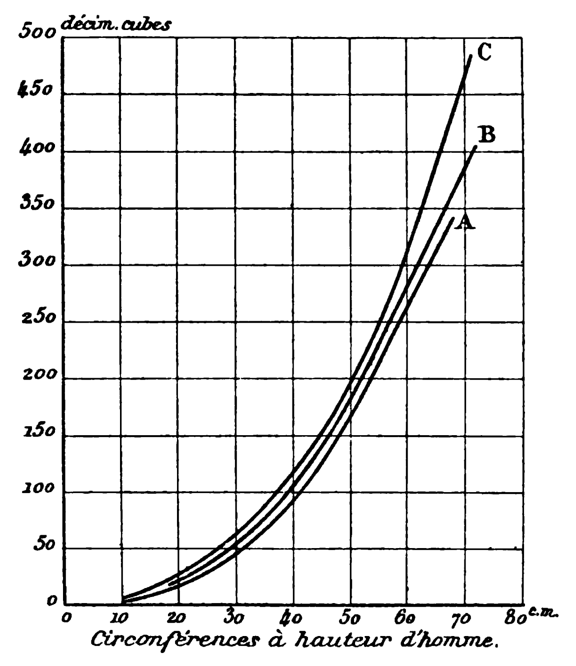


Fig. 45. — Tarifs de cubage successifs pour le hêtre dans une même place d'essai (forêt de Haye, près Nancy).
A. Tarif établi en 1887, par M. Bartet ;— B. Tarif établi en 1895, par M. Claudot ; — C. Tarif établi en 1904, par M. Cuif.

plus page 132 et fig. 42). L'emploi des tarifs obtenus graphiquement et périodiquement remis au point fournit le volume avec la précision la plus grande qu'il soit possible d'obtenir par les méthodes actuellement connues.

La construction des tarifs devient plus simple et relativement rapide par la considération des tarifs antérieurs de la même parcelle qui doivent toujours être reproduits, à titre de contrôle et de document, sur la même feuille où l'on construit le tarif nouveau.

La méthode française présente divers avantages.

D'abord le volume attribué par le tarif aux arbres d'un diamètre donné ne saurait différer notablement du volume moyen vrai des arbres de ce diamètre dans le peuplement. En effet, la construction graphique du tarif exclut la cause d'erreur si pernicieuse qui résulte, dans les méthodes allemandes (1), du choix d'un trop petit nombre d'arbres type ou du choix d'individus anormaux, trop différents de la moyenne. Le tracé graphique dégage les moyennes, en quelque sorte automatiquement, infiniment mieux que pourrait le faire le choix de l'opérateur le plus minutieux et le plus expérimenté. Ensuite, grâce à la continuité de courbure que doit présenter la ligne du tarif, tous les chiffres en sont pour ainsi dire solidarisés; le volume de l'arbre de 0 m. 45 de diamètre est déterminé non seulement par les cubages effectués de tiges d'essai de ce diamètre, mais aussi par ceux des tiges de 0 m. 30, 0 m. 40, 0 m. 50, etc.

De plus, deux peuplements identiques, cubés avec le même tarif, apparaîtront nécessairement avec le même volume et deux inventaires d'un même peuplement exécutés avec le même tarif, le même jour, par deux personnes différentes, donneront nécessairement le même résultat, ce qui n'est pas le cas avec les méthodes usitées à l'étranger.

Enfin il subsiste, après le cubage effectué, un tarif qui peut servir à en contrôler, à en établir ou même à en suppléer d'autres, et qui constitue, par lui-même, un document intéressant et utile en exprimant la loi de variation du volume avec le diamètre.

En revanche, notre méthode française a l'inconvénient d'exiger de nombreux abatages et cubages de tiges d'essai. (Le tarif de la figure 37 repose sur le cubage de 86 tiges, celui de la figure 46 ci-dessous sur celui de 40 tiges d'essai). Il est vrai que celles-ci peuvent, avec moins d'inconvénient que dans les méthodes étrangères, être prises en dehors du peuplement à

(1) Voir ci-après, page 144.

cuber. Du reste, si l'on adoptait les propositions du directeur de la Station prussienne qui voudrait voir abattre 50 tiges d'essai

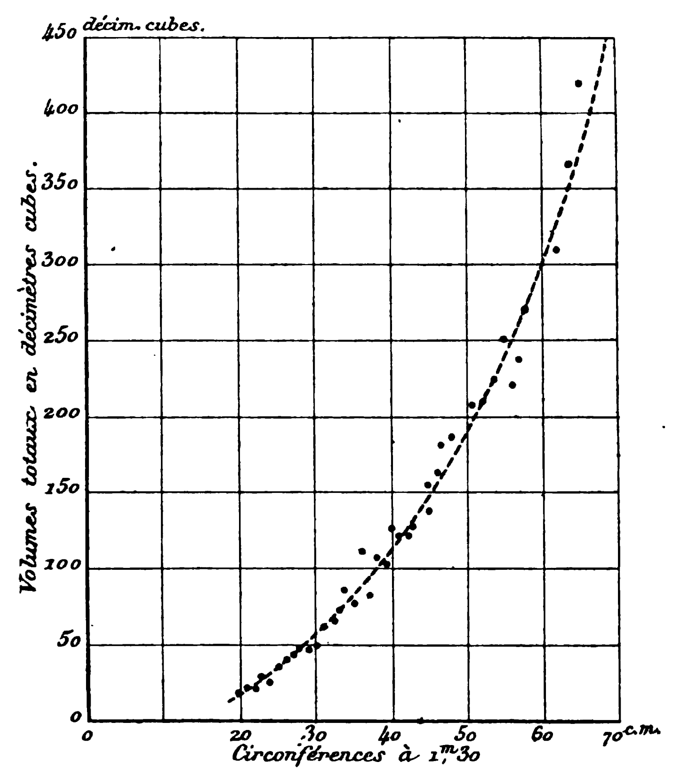


Fig. 46. — Tarif construit en 1904 pour le cubage des hêtres dans un peuplement mélangé de hêtres et chênes âgé de 45 à 50 ans (forêt de Haye). Les cubages des tiges d'essai ont été effectués par M. Cuif, attaché à la station de recherches de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts.

lors de chaque cubage (1), cette cause d'infériorité de la méthode française serait bien atténuée.

II

A l'étranger on emploie, dans les stations de recherches, des procédés foncièrement différents de celui exposé ci-dessus pour

(1) *Massenermittelung bei forstlichen Versuchs arbeiten*, article de M. le Professeur Dr Schwappach, publié dans la livraison de septembre 1901 de la *Zeitschrift für Forst und Jagdwesen*.

le cubage des peuplements sur pied. Nous allons essayer d'en donner une idée précise en nous appuyant sur les instructions officielles de l'« Union des stations de recherches forestières allemandes ». Cette association, formée des neuf stations allemandes sous la direction de la station prussienne, a arrêté une manière d'opérer uniforme qui doit être suivie lors de tous les cubages effectués par les stations affiliées à l'Union (1).

Si le peuplement à cuber se composait de *n* arbres absolument identiques, il suffirait évidemment d'en cuber un seul, exactement, après abatage, et de multiplier son volume par *n* pour obtenir le volume du peuplement. Mais, en fait, les peuplements même les plus réguliers renferment des tiges de hauteurs et surtout de diamètres différents. On décompose alors idéalement le peuplement, après avoir procédé à son inventaire, en un certain nombre de *classes* ou *groupes* de tiges dont chacun est supposé formé d'individus assez semblables entre eux pour pouvoir être cubé au moyen d'une ou d'un petit nombre de tiges d'essai. On cube chacun de ces groupes comme s'il était seul et le total donne le volume du peuplement.

Les instructions officielles des stations allemandes prescrivent de former dans le peuplement à cuber cinq groupes de tiges comprenant chacun le même nombre d'individus. Si le nombre total des tiges est N dans le peuplement, le premier groupe sera formé des $\frac{N}{5}$ tiges dont le diamètre est le plus élevé, le second des $\frac{N}{5}$ suivantes par ordre de grosseur, et ainsi de suite.

Dans chaque groupe on mesure les diamètres au compas en centimètres entiers. On en déduit la surface terrière du groupe, c'est-à-dire la somme des surfaces des sections transversales à hauteur d'homme de toutes les tiges du groupe. Soient S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 ces surfaces terrières.

(1) Ce sont les stations d'Alsace-Lorraine, Grand-Duché de Bade, Bavière, Brunswick, Hesse, Prusse, Thuringe, Saxe et Wurtemberg.

On choisit ensuite, dans chaque groupe, un certain nombre de tiges d'essai. Ce nombre devrait naturellement être plus élevé dans les peuplements jeunes que dans les autres : les instructions données aux stations allemandes prescrivent d'en prendre uniformément trois. Ces tiges doivent, autant que possible, représenter la moyenne, à tous les points de vue, des individus formant le groupe auquel elles sont empruntées. On détermine leurs surfaces terrières par groupe. Soient s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 ces surfaces terrières.

On abat ces tiges d'essai et on détermine leurs volumes totaux par groupe. Soient v_1 v_2 v_3 v_4 v_5, ces volumes pour l'ensemble des tiges des 1[er], 2[e], 3[e], 4[e] et 5[e] groupes.

On admet alors que le volume V_1 des tiges du premier groupe est au volume v_1 des tiges d'essai de ce groupe comme S_1, surface terrière totale du premier groupe, est à la surface terrière s_1 de l'ensemble des tiges d'essai prises dans ce groupe, c'est-à-dire que l'on a :

$$V_1 = v_1 \frac{S_1}{s_1}. \text{ De même on aura } V_2 = v_2 \frac{S_2}{s_2}, \text{ etc.}$$

La somme $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$ donnera le total V du peuplement.

Tel est le principe de la méthode de cubage pour les peuplements suivie par les stations de recherches allemandes, et, avec quelques variantes, par les stations suisse et autrichienne. Son degré d'exactitude dépend évidemment de la mesure dans laquelle se trouve réalisée son hypothèse que $V_1 = v_1 \frac{S_1}{s_1}$, c'est-à-dire que le rapport du volume total afférant à un groupe à celui des tiges d'essai de ce groupe est le même que celui des surfaces terrières. C'est donc cette hypothèse que nous allons examiner.

Si toutes les tiges d'un même groupe étaient identiques, le procédé serait parfait. Mais elles ne le sont jamais, même pas dans les massifs résineux très denses, purs, équiennes, d'origine artificielle où opèrent de préférence les stations allemandes.

Il y aura d'autant plus de chances pour que cette identité soit réalisée que le nombre des groupes de tiges sera plus grand. Nous avons dit que les instructions officielles prescrivent d'en former cinq; on ne dépasse jamais ce chiffre en pratique (1).

Les classes de tiges présentant des individus plus ou moins dissemblables, il devient nécessaire que les tiges d'essai soient des *tiges moyennes*. Que faut-il entendre par la tige moyenne d'un groupe?

C'est évidemment celle qui présentera pour sa surface terrière sa hauteur, son coefficient de forme, des moyennes entre les surfaces terrières, hauteurs et coefficients de forme de toutes les tiges du groupe. Ce sont en effet ces trois grandeurs qui déterminent le volume dont nous poursuivons la recherche.

La tige moyenne n'a pas, comme diamètre, une moyenne arithmétique des diamètres de toutes les tiges. En effet nous avons eu l'occasion de voir (2) que le volume moyen de deux tiges, dont les diamètres sont $d + \alpha$ et $d - \alpha$, n'est pas celui de la tige de diamètre d, mais celui de la tige d'un diamètre $d + \varepsilon$, ε étant d'autant plus grand que α l'est lui-même. Aussi, pour calculer la dimension de la tige d'essai type, divise-t-on la surface terrière totale S_1 d'un groupe par le nombre de tiges n_1 qui le constituent et la tige moyenne sera celle dont le diamètre correspondra à une surface terrière $\frac{S_1}{n_1}$.

La tige moyenne devra de plus avoir une hauteur et une forme moyenne. D'après les instructions officielles on se borne à apprécier qu'il en est ainsi, en évitant d'abattre, comme tiges d'essai, des individus apparemment exceptionnels. Il semble cependant qu'on se soit rendu compte que ce critérium peut être insuffisant. La station prussienne, notamment, comme nous ver-

(1) Il semblerait même qu'on se contente parfois de former 3 groupes de tiges et de prendre deux ou trois tiges d'essai seulement dans chaque groupe. Voir à ce sujet dans le *Handbuch der Forstwissenschaft* de Lorey (2e édition, chez Laupp, Tübingue, 1903) l'article sur la dendrométrie par M. v. Guttenberg, pages 235 et 244 du 3e volume.

(2) Voir plus haut page 122.

rons ci-après, a cherché un procédé plus sûr pour le choix des tiges d'essai que ne l'est la simple appréciation à vue.

L'erreur provenant de l'incertitude où l'on se trouve que les tiges d'essai soient des tiges typiques moyennes est diminuée si l'on prend un grand nombre de tiges d'essai dans chaque groupe. Les instructions officielles prescrivent d'en cuber trois.

En somme, la méthode officiellement suivie par les stations allemandes présente, par rapport à la méthode française, les avantages et inconvénients suivants.

1° Les opérations du cubage sont plus rapides que dans la méthode française. Non seulement les tiges d'essai sont moins nombreuses (15 au lieu d'une quarantaine au moins), mais encore il n'est pas nécessaire de cuber chaque tige d'essai en particulier. En effet, l'on n'a besoin de connaître que le volume total des tiges d'un même groupe; on peut donc les cuber en bloc par groupe, ce qui est une grande simplification;

2° En revanche la détermination des surfaces terrières totales par la mesure des diamètres ne présente pas la même précision que celle que l'on obtient par la mesure des circonférences, pratiquée en France. De nombreux mesurages ont vérifié qu'on ne peut obtenir la surface terrière d'un peuplement en mesurant les diamètres à un demi-centimètre près qu'à 1 ou 2 0/0 près (1). Cette erreur est d'autant plus fâcheuse qu'elle pourrait être évitée ou tout au moins réduite considérablement;

3° Le choix des tiges d'essai, quelques précautions que l'on prenne, est arbitraire. Presque inévitablement, on se laisse entraîner à choisir, non pas la tige moyenne, mais celle qui paraît normalement conformée. Dans la méthode française, il n'est pas essentiel que les tiges abattues soient des tiges moyennes;

(1) L'erreur est encore bien plus grande lorsque les diamètres ne sont pas toujours mesurés suivant la même direction. D'autre part, les mesurages successifs d'*un même diamètre* peuvent souvent donner une idée entièrement fausse de l'accroissement de l'arbre qui peut être très inégal sur des diamètres différents, surtout dans les peuplements feuillus éclaircis.



le tracé graphique élimine nécessairement l'influence des tiges trop anormales qu'on aurait pu abattre.

Ce choix des arbres-type ou tiges d'essai, difficile lorsque le peuplement est à peu près régulier, devient à peu près impossible à faire rationnellement dans un peuplement tant soit peu irrégulier comme le sont toujours les peuplements feuillus convenablement éclaircis, les peuplements résineux d'origine naturelle et, a fortiori, ceux de forme jardinée. Les erreurs provenant de la méthode allemande peuvent alors devenir énormes;

4° L'erreur résultant du choix forcément imparfait des tiges d'essai se trouve multipliée, dans la méthode allemande, lors de la détermination du volume total d'un groupe, par un nombre égal à $\frac{S_1}{s_1}$ qui peut être très grand. Il le sera d'autant plus que S_1 sera plus grand, c'est-à-dire qu'on aura formé moins de groupes de tiges et que s_1 sera plus petit, c'est-à-dire qu'on aura moins de tiges d'essai;

5° Enfin il résulte de ce qui précède que deux cubages d'un même peuplement, effectués le même jour par deux opérateurs différents, donneront nécessairement des résultats inégaux. Les différences peuvent atteindre, comme nous allons voir, des chiffres très élevés, par exemple un sixième, un cinquième du volume réel, ou même davantage.

Nos voisins ne sont pas sans s'être rendu compte de l'imperfection de leur méthode. Déjà en 1887 l'un des hommes qui s'est le plus occupé de ces questions en Allemagne reconnaissait publiquement que la méthode de cubage des stations de recherches fournit des résultats « dont l'exactitude paraît souvent très problématique (1) ». En 1891 le directeur de la station prussienne déclarait que l'incertitude des cubages a fréquemment été telle que l'on doit considérer comme douteuses et critiquables les conclusions d'une fraction tout à fait importante des

(1) M. Weise, aujourd'hui Directeur de l'Ecole forestière de Münden, autrefois attaché à la Station de recherches prussienne (*Aus dem Walde*, 1887, p. 101).

travaux des stations de recherches (1). Plus tard, en 1902, le même forestier faisait remarquer que les erreurs dues au procédé de cubage officiel sont souvent très notablement supérieures aux grandeurs qu'on veut déterminer (par exemple lorsqu'on prétend déduire de deux cubages successifs d'un peuplement son accroissement dans l'intervalle des deux opérations) et qu'on arrive fréquemment à des résultats « entièrement absurdes ». Comme remède, M. Schwappach propose de choisir les tiges d'essai non seulement parmi celles qui ont une surface terrière moyenne, mais encore parmi celles qui ont une hauteur moyenne et un coefficient de forme moyen qu'on détermine préalablement. Ces deux déterminations se feraient graphiquement, et, dans le cas d'inventaires successifs d'un même peuplement, en tenant compte de la loi suivant laquelle ces grandeurs varient avec l'âge dans un peuplement normal (2). Nous ne pouvons entrer ici dans plus de détails sur ce procédé compliqué dont la valeur pratique peut paraître encore incertaine.

III

On a essayé, à l'étranger, de se rendre compte du degré d'exactitude que présentent les cubages effectués par la méthode des stations de recherches. Pour cela on a cubé avec tout le soin possible, en formant cinq groupes de tiges et en prenant trois à cinq arbres-type dans chaque groupe, des parcelles de bois debout qu'on a ensuite exploitées à blanc étoc pour en connaître, après abatage, le volume exact.

Dans le cas le plus favorable qui puisse se présenter, celui du cubage de peuplements d'épicéa d'âge au plus moyen, équiennes, réguliers, n'ayant jamais été éclaircis, les erreurs vont jusqu'à *six pour cent* du volume vrai, soit dans un sens, soit

(1) M. Schwappach, in *Zeitschrift für Forst und Jagdwesen*, volume de 1891, page 518. Voir aussi du même auteur *Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände*, page 52 (Neumann, édit. à Neudamm, 1902).

(2) Voir *Leitfaden der Holzmesskunde*, par M. Schwappach, 2e édition, Berlin, Springer, édit., pages 98 et 99.

dans l'autre. Des cubages de peuplements de hêtre en futaie ont présenté des erreurs de même ordre. Les massifs de pins sylvestres, même très réguliers, ont donné des erreurs allant à *sept pour cent*, soit dans un sens, soit dans l'autre. Lorsque les peuplements sont plus âgés, et, par conséquent, moins réguliers, les erreurs atteignent *dix, et même treize pour cent*, chiffres trouvés par la station de recherches suisse pour un peuplement d'épicéa de 85 ans et une parcelle de sapin de 130 ans. Il est vrai que dans ces deux derniers cas on n'avait pris qu'une tige d'essai dans chacun des cinq groupes de tiges formés dans le peuplement (1).

Une méthode, dite précise, qui donne des erreurs de 80 mètres cubes en plus ou en moins sur le matériel couvrant un hectare dans une bonne sapinière moyenne, a évidemment besoin d'être améliorée. On ne peut que s'associer aux critiques formulées contre elle par ceux qui la connaissent le mieux dans son pays d'origine. Les résultats sont très souvent moins exacts que ceux qu'on obtient avec des tarifs de cubage généraux établis pour tout un pays, comme le sont les tarifs généraux bavarois. A plus forte raison sont-ils inférieurs à ceux que donnerait un bon tarif spécial établi pour la région (2).

(1) Voir dans les *Mitteilungen* de la station suisse (VI[e] volume, Zürich, 1898, page 107) un travail de M. Flury. Voir aussi une brochure de M. Böhmerlé, de la station de recherches autrichiennes (*Versuche über Bestandes massen Aufnahmen*, Vienne, Frick, éditeur, 1899). Dans ce dernier ouvrage, nous trouvons les résultats obtenus par une méthode indiquée par MM. Speidel et Kopezky en 1893 et 1895, laquelle se rapproche tant soit peu du procédé français. Les erreurs obtenues dans le cubage d'un peuplement de pins sylvestres et de sapin sont quinze à vingt fois moindres que dans l'application de la méthode des stations allemandes. En revanche un peuplement d'épicéa a présenté une erreur relative huit fois plus forte par la méthode Speidel. Les cubages de M. Böhmerlé n'ont porté que sur un seul peuplement de chacune des trois essences. La station de recherches de Nancy va s'occuper, sur notre proposition, de la vérification du degré de précision de sa méthode de cubage.

(2) Voir Flury, *op. cit.*, pages 120-121. L'erreur moyenne de 12 cubages de peuplements, d'après le procédé des stations allemandes, s'est trouvé être de 4,76 et 2,8 pour cent du volume vrai suivant qu'on prenait une ou trois tiges d'essai dans chaque groupe. L'emploi des tarifs de cubage généraux bavarois de 1846 a donné (en Suisse!) une erreur de 4,25 p. 100 et celui des tarifs récemment établis par les stations de recherches allemandes a donné une erreur de 4,3 p. 100 en moyenne.

APPENDICE

Nous donnons ci-après, en appendice à cette étude, trois tables destinées à faciliter les calculs d'une exécution courante lors des cubages de bois.

La table A donne les surfaces des cercles dont le diamètre varie de centimètre en centimètre jusqu'à 1 m. 20. Elle est destinée au cubage de grumes dont le diamètre médian est connu.

La table B donne les surfaces des cercles dont la circonférence varie de deux centimètres en deux centimètres jusqu'à 4 m. 00. Elle est destinée au cubage de grumes dont la circonférence médiane est connue.

Ces deux tables, d'un dispositif très simple, ne comportent aucune explication ni commentaire.

La table C est celle qui sert le plus habituellement pour le cubage des arbres abattus. Elle donne, pour des circonférences médianes variant de décimètre en décimètre jusqu'à 4 m. 00, et pour des longueurs mesurées en nombres pairs de décimètres jusqu'à 20 mètres, le volume des pièces en grume (1).

La détermination des volumes correspondant à toute la série des longueurs en nombres pairs de décimètres eût nécessité la construction d'un tarif trop volumineux. Il a paru suffisant de donner les volumes pour la série des longueurs de 1 à 20 mètres et pour les décimètres pairs de 2 jusqu'à 8. Pour obtenir le volume d'une grume de 20 m. 40 de longueur et de 0 m. 80 de tour il suffit de faire l'addition suivante :

Volume pour 20 mètres	1,0186
Volume pour 0 m. 40	0,0204
Total, ou volume pour 20 m. 40	1,0390.

(1) Cette table est empruntée aux Tarifs publiés en 1878 par l'Administration des Forêts pour le cubage des arbres dans les coupes vendues après façonnage.

TABLE A

Table des surfaces pour des cercles dont le diamètre varie de centimètre en centimètre de 3 centimètres à 1m.20.

Diamètre	Surface	Diamètre	Surface	Diamètre	Surface	Diamètre	Surface
....	....	0.30	0.071	0 60	0 283	0.90	0.636
....	.. ..	0.31	0.075	0.61	0.292	0.91	0.650
....	....	0.32	0.080	0.62	0.302	0.92	0.665
0.03	0.0007	0.33	0.086	0.63	0.312	0.93	0.679
0.04	0.0013	0.34	0.091	0.64	0.322	0.94	0.694
0.05	0.0019	0.35	0.096	0 65	0.332	0 95	0.709
0.06	0.0028	0.36	0.102	0.66	0.342	0.96	0.724
0.07	0.0038	0 37	0.108	0.67	0.353	0.97	0.739
0.08	0.0050	0.38	0.113	0.68	0.363	0.98	0.754
0.09	0.0064	0.39	0.119	0.69	0.371	0.99	0.770
0.10	0.0079	0.40	0.126	0.70	0.385	1.00	0.785
0.11	0.0095	0.41	0.132	0.71	0.396	1.01	0.801
0.12	0.0113	0.42	0.139	0.72	0.407	1.02	0.817
0.13	0.0133	0.43	0.145	0.73	0.419	1.03	0.833
0.14	0.0154	0.44	0.152	0.74	0.430	1.04	0.849
0.15	0.0177	0.45	0.159	0.75	0.442	1.05	0.866
0.16	0 0201	0.45	0.166	0.76	0.454	1.06	0.882
0.17	0.0227	0.47	0.173	0.77	0.466	1.07	0.899
0.18	0.0254	0.48	0.181	0.78	0.478	1.08	0.916
0.19	0.0284	0.49	0.189	0.79	0.490	1.09	0.933
0.20	0.0314	0.50	0.196	0.80	0.503	1.10	0.950
0.21	0.0346	0.51	0.204	0.81	0.515	1.11	0.968
0.22	0.0380	0.52	0.212	0.82	0.528	1.12	0.985
0.23	0.0415	0.53	0.221	0.83	0 541	1.13	1.003
0.24	0.0452	0.54	0.229	0.84	0.554	1.14	1.021
0.25	0.0491	0.55	0.238	0.85	0.567	1.15	1.039
0.26	0.0531	0.56	0.246	0.86	0.581	1.16	1.05
0.27	0.0573	0.57	0.255	0.87	0.594	1.17	1.075
0.28	0.0616	0.58	0.264	0.88	0.608	1.18	1.094
0.29	0.0660	0.59	0.273	0.80	0.622	1.19	1.112

TABLE B

Table des surfaces pour des cercles dont la circonférence varie de deux en deux centimètres de 0 m. 10 à 4 m. 00.

Circonférences	Surfaces	Circonférences	Surfaces	Circonférences	Surfaces	Circonférences	Surfaces
0.10	**0.0008**	**1.10**	**0.096**	**2.10**	**0.351**	**3.10**	**0.765**
0.12	0.0011	1.12	0.100	2.12	0.358	3.12	0.775
0.14	0.0016	1.14	0.103	2.14	0.364	3.14	0.785
0.16	0.0020	1.16	0.107	2.16	0.371	3.16	0.795
0.18	0.0026	1.18	0.111	2.18	0.378	3.18	0.805
0.20	**0.0032**	**1.20**	**0.115**	**2.20**	**0.385**	**3.20**	**0.815**
0.22	0.0039	1.22	0.118	2.22	0.392	3.22	0.825
0.24	0.0046	1.24	0.122	2.24	0.399	3.24	0.835
0.26	0.0054	1.26	0.126	2.26	0.406	3.26	0.846
0.28	0.0062	1.28	0.130	2.28	0.414	3.28	0.856
0.30	**0.0072**	**1.30**	**0.134**	**2.30**	**0.421**	**3.30**	**0.867**
0.32	0.0081	1.32	0.139	2.32	0.428	3.32	0.877
0.34	0.0092	1.34	0.143	2.34	0.436	3.34	0.888
0.36	0.0103	1.36	0.147	2.36	0.443	3.36	0.898
0.38	0.0115	1.38	0.152	2.38	0.451	3.38	0.909
0.40	**0.0127**	**1.40**	**0.156**	**2.40**	**0.458**	**3.40**	**0.920**
0.42	0.0140	1.42	0.160	2.42	0.466	3.42	0.931
0.44	0.0154	1.44	0.165	2.44	0.474	3.44	0.942
0.46	0.0168	1.46	0.170	2.46	0.482	3.46	0.953
0.48	0.0183	1.48	0.174	2.48	0.489	3.48	0.964
0.50	**0.0199**	**1.50**	**0.179**	**2.50**	**0.497**	**3.50**	**0.975**
0.52	0.0215	1.52	0.184	2.52	0.505	3.52	0.986
0.54	0.0232	1.54	0.189	2.54	0.513	3.54	0.997
0.56	0.0250	1.56	0.194	2.56	0.522	3.56	1.009
0.58	0.0268	1.58	0.199	2.58	0.530	3.58	1.020
0.60	**0.0286**	**1.60**	**0.204**	**2.60**	**0.538**	**3.60**	**1.031**
0.62	0.0306	1.62	0.209	2.62	0.546	3.60	1.043
0.64	0.0326	1.64	0.214	2.64	0.555	3.64	1.054
0.66	0.0347	1.66	0.219	2.66	0.563	3.66	1.066
0.68	0.0368	1.68	0.225	2.68	0.572	3.68	1.078
0.70	**0.039**	**1.70**	**0.230**	**2.70**	**0.580**	**3.70**	**1.089**
0.72	0.041	1.72	0.235	2.72	0.589	3.72	1.101
0.74	0.044	1.74	0.241	2.74	0.597	3.74	1.113
0.76	0.046	1.76	0.246	2.76	0.606	3.76	1.125
0.78	0.048	1.78	0.252	2.78	0.615	3.78	1.137
0.80	**0.051**	**1.80**	**0.258**	**2.80**	**0.624**	**3.80**	**1.149**
0.82	0.054	1.82	0.264	2.82	0.633	3.82	1.161
0.84	0.056	1.84	0.269	2.84	0.642	3.84	1.173
0.86	0.059	1.86	0.275	2.86	0.651	3.86	1.186
0.88	0.062	1.88	0.281	2.88	0.660	3.88	1.198
0.90	**0.064**	**1.90**	**0.287**	**2.90**	**0.669**	**3.90**	**1.210**
0.92	0.067	1.92	0.293	2.92	0.678	3.92	1.223
0.94	0.070	1.94	0.299	2.94	0.688	3.94	1.235
0.96	0.073	1.96	0.306	2.96	0.697	3.96	1.248
0.98	0.076	1.98	0.312	2.98	0.707	3.98	1.261
1.00	**0.080**	**2.00**	**0.318**	**3.00**	**0.716**	**4.00**	**1.273**
1.02	0.083	2.02	0.325	3.02	0.726	....	....
1.04	0.086	2.04	0.331	3.04	0.735	....	....
1.06	0.089	2.06	0.338	3.06	0.745	....	....
1.08	0.093	2.08	0.344	3.08	0.755	....	....

TABLE C

Tarif pour le cubage des grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	0m,1	0m,2	0m,3	0m,4	0m,5	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.0002	0.0006	0.0014	0.0025	0.0040	0.2
0.4	0.0003	0.0013	0.0029	0.0051	0.0080	0.4
0.6	0.0005	0.0019	0.0043	0.0076	0.0119	0.6
0.8	0.0006	0.0025	0.0057	0.0102	0.0159	0.8
1	**0.0008**	**0.0032**	**0.0072**	**0.0127**	**0.0199**	**1**
2	0.0016	0.0064	0.0143	0.0255	0.0398	2
3	0.0024	0.0095	0.0215	0.0382	0.0596	3
4	0.0032	0.0127	0.0286	0.0509	0.0796	4
5	**0.0040**	**0.0159**	**0.0358**	**0.0637**	**0.0995**	**5**
6	....	0.0191	0.0430	0.0764	0.1194	6
7	....	0.0223	0.0501	0.0891	0.1393	7
8	....	0.0255	0.0573	0.1019	0.1592	8
9	....	....	0.0645	0.1146	0.1790	9
10	....	....	**0.0716**	**0.1273**	**0.1989**	**10**
11	....	....	....	0.1400	0.2188	11
12	....	....	....	0.1528	0.2387	12
13	....	....	....	....	0.2586	13
14	....	....	....	....	0.2785	14
15	....	....	....	....	**0.2984**	**15**
16	....	....	....	....	....	16
17	....	....	....	....	....	17
18	....	....	....	....	....	18
19	....	....	....	....	....	19
20	....	....	....	....	....	**20**
	0m,1	0m,2	0m,3	0m,4	0m,5	

TABLE C (*suite*).

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	0m,6	0m,7	0m,8	0m,9	1m,0	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.0057	0.0078	0.0102	0.0129	0.0159	0.2
0.4	0.0115	0.0156	0 0204	0 0258	0.0318	0.4
0.6	0.0172	0.0234	0.0306	0.0387	0.0477	0.6
0.8	0.0229	0.0312	0.0407	0.0516	0.0637	0.8
1	**0.0286**	**0.0390**	**0.0509**	**0.0645**	**0.0796**	**1**
2	0 0573	0.0780	0.1018	0.1289	0 1592	2
3	0 0859	0.1170	0.1528	0.1934	0.2387	3
4	0.1146	0.1560	9.2037	0.2578	0.3183	4
5	**0.1432**	**0.1950**	**0 2546**	**0.3223**	**0.3979**	**5**
6	0.1719	0.2340	0.3056	0.3867	0.4775	6
7	0.2005	0.2730	0.3565	0.4512	0.5570	7
8	0.2292	0.3119	0.4074	0.5157	0.6366	8
9	0.2578	0.3509	0.4584	0.5801	0.7162	9
10	**0.2865**	**0.3899**	**0.5093**	**0.6446**	**0.7958**	**10**
11	0.3151	0.4289	0.5602	0.7091	0 8754	11
12	0.3438	0.4679	0.6112	0.7736	0.9549	12
13	0.3724	0.5069	0.6621	0 8381	1.0345	13
14	0.4011	0.5459	0.7130	0.9025	1.1141	14
15	**0.4297**	**0.5849**	**0.7639**	**0.9671**	**4.1937**	**15**
16	0.4584	0.6239	0.8148	1.0316	1.2732	16
17	0.4870	0.6629	0.8657	1.0961	1.3528	17
18	0.5157	0.7019	0.9167	1.1605	1.4324	18
19	....	0.7409	0.9676	1.2250	1.5120	19
20	....	**0.7799**	**1.0186**	**1.2895**	**1.5915**	**20**
	0m,6.	0m,7	0m,8	0m,9	1m,0	

TABLE C (*suite*).

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0m.20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	1m,1	1m,2	1m,3	1m,4	1m,5	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.0193	0.0229	0.0269	0.0312	0.0358	0.2
0.4	0.0385	0.0458	0.0538	0.0624	0.0716	0.4
0.6	0.0578	0.0688	0.0807	0.0936	0.1074	0.6
0.8	0.0770	0.0917	0.1076	0.1248	0.1432	0.8
1	**0.0963**	**0.1146**	**0.1345**	**0.1560**	**0.1790**	**1**
2	0.1926	0.2292	0.2690	0.3119	0.3581	2
3	0.2888	0.3438	0.4035	0.4679	0.5371	3
4	0.3852	0.4584	0.5379	1.6239	0.7162	4
5	**0.4814**	**0.5730**	**0.6724**	**0.7799**	**0.8953**	**5**
6	0 5777	0.6875	0.8069	0.9358	1.0743	6
7	0.6740	0.8020	0.9414	1.0918	1.2533	7
8	0 7703	0.9167	1.0759	1.2478	1.4324	8
9	0.8666	1.0313	1.2104	1.4037	1.6114	9
10	**0.9629**	**1.1459**	**1.3448**	**1.5597**	**1.7905**	**10**
11	1.0592	1.2605	1.4793	1.7157	1.9695	11
12	1.1555	1.3751	1.6138	1.8717	2 1485	12
13	1.2518	1.4897	1.7483	2.0277	2.3275	13
14	1.3480	1.6043	1.8828	2.1836	5.5067	14
15	**1.4443**	**1.7189**	**2.0173**	**2.3396**	**2.6857**	**15**
16	1.5406	1.8335	2.1518	2.4956	2.8648	16
17	1.6369	1.9481	2.2862	2.6516	3.0438	17
18	1.7332	2.0627	2.4207	2.8076	3.2228	18
19	1.8295	2.1772	2.5552	2.9636	3.4019	19
20	**1.9258**	**2.2918**	**2.6897**	**3.1194**	**3.5810**	**20**
	1m,1	1m,2	1m,3	1m,4	1m,5	

TABLE C (*suite*)

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	1m,6	1m,7	1m,8	1m,9	2m,0	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0 0407	0.0460	0.0516	0.0575	0 0637	0.2
0.4	0.0815	0.0920	0.1031	0.1149	0.1273	0.4
0.6	0.1222	0.1380	0.1547	0.1724	0 1910	0.6
0.8	0.1630	0.1840	0.2063	0.2298	0.2546	0.8
1	**0.2037**	**0.2300**	**0.2578**	**0.2873**	**0.3183**	**1**
2	0.4074	0.4600	0.5157	0.5746	0.6366	2
3	0.6112	0 6899	0.7735	0.8618	0.9549	3
4	0.8149	0.9199	1.0313	1 1491	1.2732	4
5	**1.0186**	**1.1499**	**1.2892**	**1.4364**	**1.5915**	**5**
6	1.2223	1.3799	1.5470	1.7236	1.9099	6
7	1.4260	1.6099	1.8048	2.0109	2.2282	7
8	1 6297	1.8398	2.0626	2.2982	2.5465	8
9	1.8335	2.0698	2.3205	2.5855	2 8648	9
10	**2.0372**	**2.2998**	**2.5783**	**2.8727**	**3.1831**	**10**
11	2.2409	2.5298	2 8361	3.1600	3.5014	11
12	2.4446	2.7597	3.0940	3.4473	3.8197	12
13	2.6483	2 9897	3.3518	3.7346	4.1380	13
14	2.8521	3.2197	3.6096	4.0218	4.4563	14
15	**3.0558**	**3.4497**	**3.8675**	**4 3091**	**4.7746**	**15**
16	3.2595	3.6797	4.1253	4 5964	5 0930	16
17	3.4632	3.9096	4.3831	4 8837	5.4113	17
18	3.6670	4.1396	4.6410	5.1709	5.7296	18
19	3.8706	4.3696	4.8988	5.4582	6.0479	19
20	**4.0744**	**4 5996**	**5.1566**	**5.7455**	**6.3662**	**20**
	1m,6	1m,7	1m,8	1m,9	2m,0	

TABLE C (*suite*).

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	2m,1	2m,2	2m,3	2m,4	2m,5	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.0702	0.0770	0.0842	0.0917	0.0995	0.2
0.4	0.1404	0.1541	0.1684	0.1833	0.1989	0.4
0.6	0.2106	0.2311	0 2526	0 2750	0.2984	0.6
0.8	0.2807	0.3081	0.3368	0.3667	0.3979	0.8
1	**0.3509**	**0.3852**	**0.4210**	**0.4584**	**0.4974**	**1**
2	0.7019	0.7703	0.8419	0.9167	0.9947	2
3	1.0528	1.1555	1.2629	1.3751	1.4921	3
4	1.4037	1.5406	1.6839	1.8335	1.9894	4
5	**1.7547**	**1.9258**	**2.1048**	**2.2918**	**2.4868**	**5**
6	2.1056	2.3109	2.5258	2.7502	2.9842	6
7	2.4566	2.6961	2.9468	3.2086	3.4815	7
8	2.8075	3.0812	3.3677	3.6669	2.9789	8
9	3.1584	3.4664	3.7887	4.1253	4.7626	9
10	**3.5094**	**3.8516**	**4.2096**	**4.5837**	**4.9736**	**10**
11	3.8603	4.2367	4.6306	5.0420	5.4710	11
12	3.2112	4.6219	5.0516	5.5004	4.9683	12
13	4.5622	5.0070	5.4725	5.9588	6.4657	13
14	4.9131	5.3922	5.8935	6.4171	6.9630	14
15	**5.2640**	**5.7773**	**6.3145**	**6.8755**	**7.4604**	**15**
16	5.6150	6 1625	6.7354	7.3339	7.9577	16
17	5.9659	6.5476	7.1564	7.7922	8.4551	17
18	6.3169	6.9328	7.5774	8.2506	8.9524	18
19	6.6678	7.3179	7.9983	8.7090	9.4498	19
20	**7.0187**	**7.7031**	**8.4193**	**9.1673**	**9.9472**	**20**
	2m,1	2m,2	2m,3	2m,4	2m,5	

TABLE C (*suite*)

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	2m,6	2m,7	2m,8	2m,9	3m,0	
m. d	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.1076	0.1160	0.1248	1.1338	0.1432	0.2
0.4	0.2152	0.2320	0.2496	0.2677	0.2865	0 4
0.6	0.3228	0.3481	0.3743	0.4015	0.4297	0.6
0.8	0.4304	0.4641	0.4991	0 5354	0.5730	0.8
1	**0.5379**	**0.5801**	**0.6239**	**0.6692**	**0.7162**	**1**
2	1.0759	1.1602	1.2478	1.3385	1.4324	2
3	1.6139	1.7404	1.8717	2.0077	2.1486	3
4	2.1518	2.3205	2.4955	2.6770	2.8648	4
5	**2.6897**	**2.9006**	**3.1194**	**3.3462**	**3.5810**	**5**
6	3.2277	3.4807	3.7433	4.0155	4.2972	6
7	8.7656	4 0608	4.3672	4.6847	5.0134	7
8	4.3035	4.6410	4.9911	5.3540	5.7296	8
9	4.8415	5.2211	5.6150	6.0232	6.4458	9
10	**5.3794**	**5.8012**	**6.2389**	**6.6925**	**7.1620**	**10**
11	5.9174	6.3813	6.8628	7.3617	7.8782	11
12	6.4553	6.9614	7.4866	7.0310	8.5944	12
13	6.9933	7 5416	8.1105	8.7002	9.3106	13
14	7.5312	8.1217	8.7344	9.3695	10.0268	14
15	**8.0692**	**8.7018**	**9.3583**	**10.0387**	**10.7430**	**15**
16	8.6071	9.2819	9.9822	10.7080	11.4592	16
17	9.1450	9.8620	10.6060	11.3772	12.1754	17
18	9.6830	10.4422	11.2300	12.0464	12.8915	18
19	10.2209	11.0223	11 8539	12.7157	13.6077	19
20	**10.7589**	**10.6024**	**12.4777**	**13.3849**	**14.3239**	**20**
	2m,6	2m,7	2m,8	2m,9	3m,0	

TABLE C (*suite*)

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m.20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	3m,1	3m,2	3m,3	3m,4	3m,5	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0.2	0.1529	0.1630	0.1733	0.1840	0.1950	0.2
0.4	0.3059	0.3259	0.3466	0.3680	0.3899	0.4
0.6	0.4588	0 4889	0.5200	0.5519	0.5849	0.6
0.8	0.6118	0.6519	0.6933	0.7359	0 7799	0.8
1	**0.7647**	**0.8149**	**0.8666**	**0.9199**	**0.9748**	**1**
2	1.5295	1.6297	1.7332	1.8398	1.9496	2
3	2.2942	2.4446	2.5998	2.7597	2.9245	3
4	3.0590	3.2595	3.4664	3.6797	3.8993	4
5	**3.8237**	**4.0744**	**4.3230**	**4.5996**	**4.8741**	**5**
6	4.5884	4.8892	5.1996	5.5195	5.8489	6
7	5.3532	5.7041	6.0662	6.4394	6.8238	7
8	6.1179	5.5190	6.9328	7 3593	7.7986	8
9	6.8827	7.3339	7.7994	8.2792	8.7734	9
10	**7.6474**	**8.1487**	**86.6660**	**9.1992**	**9.7482**	**10**
11	8.4121	8.9636	9.5326	10.1191	10.7231	11
12	9.1769	9.7785	10.3992	11.0390	11.6979	12
13	9.9416	10.5934	11.2658	11.9589	12.6727	13
14	10.7064	11.4082	12.1324	12.8788	13.6475	14
15	**11.4711**	**12.2231**	**2.9990**	**23.7987**	**14.6224**	**15**
16	12.2358	13.0380	13.8656	14 7187	15.5972	16
17	13.0006	13.8528	14.7322	15.6386	16.5720	17
18	13.7653	14.6677	25.5988	16.5585	17.5468	16
19	14.5301	15.4826	16.4654	17.4784	18.5217	19
20	**15.2948**	**16.2975**	**17.3320**	**18.3983**	**19.4965**	**20**
	3m,1	3m,2	3m,3	3m,4	3m,5	

TABLE C (*suite*)

Tarif pour le cubage de grumes dont les circonférences varient de décimètre en décimètre et les longueurs de 0 m. 20 à 20 mètres.

LONGUEURS	CIRCONFÉRENCES AU MILIEU					LONGUEURS
	3m,6	3m,7	3m,8	3m,9	4m,0	
m. d.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. d.
0 2	0.2063	0.2179	0.2298	0.2421	0.2546	0.2
0.4	0.4125	0.4358	0.4596	0.4841	0 5093	0.4
0.6	0.6188	0.6536	0.6895	0.7262	0.7639	0.6
0.8	0.8251	0.8715	0.9193	0.9683	1.0186	0.8
1	**1.0313**	**1.0894**	**1.1491**	**1.2104**	**1.2732**	**1**
2	2.0626	2.1783	2.2982	2.4207	2.5465	2
3	3 0940	3.2682	3.4473	3.6311	3.8197	3
4	4.1253	4.3577	4.5964	4.8415	5.0930	4
5	**5.1566**	**5.4471**	**5.7455**	**6.0519**	**6.3662**	**5**
6	6.1879	6.5365	6.8946	7.2622	7.6494	6
7	7.2193	7.6259	8.0437	8.4726	8.9127	7
8	8.2506	8 7153	9.1928	9.6830	10.1859	8
9	9.2819	9.8047	10.3419	10.8934	11.4592	9
10	**10.3132**	**10.8942**	**11.4910**	**12.1037**	**12.7324**	**10**
11	11.3446	11.9836	12.6401	13.3141	14.0056	11
12	12.3759	13.0730	13.7892	14.5245	15.2789	12
13	13 4072	14.1624	14.9383	15.7349	16.5521	13
14	14.4385	15.2518	16.0874	16.9452	17.8254	14
15	**15.4699**	**16.3412**	**17.2365**	**18.1556**	**19.0986**	**15**
16	16.5012	17.4306	18.3856	19.3660	20.3718	16
17	17.5325	18.5201	19.5347	20.5763	21.6451	17
18	18.5638	19 6095	20.6838	21.7867	22.9133	18
19	10.5952	20.6989	21.8329	22.9971	24.1916	19
20	**20.6265**	**21.7883**	**22.9820**	**24.2075**	**25.4648**	**20**
	3m,6	3m,7	3m,8	3m,9	4m,0	

SIXIÈME ÉTUDE

LA FORMATION DU PRODUIT FORESTIER

AVANT-PROPOS

La production forestière, de même que toute autre production, résulte du concours de trois agents qui sont : 1° LE TRAVAIL HUMAIN ; 2° LES FORCES NATURELLES et 3° LE CAPITAL.

L'importance relative de ces trois agents varie beaucoup suivant la nature de la production. C'est ainsi que la production industrielle, bien qu'elle utilise aussi des matières premières, qui sont des produits naturels, met surtout en œuvre le travail humain et le capital. La production agricole dépend plus également des trois agents : travail, nature, capital.

L'action des forces naturelles est gratuite et ne peut se comparer par suite, à celle du travail et du capital qui comportent une rémunération. Nous pouvons nous demander quelle est, d'une façon générale, **l'importance relative du travail et du capital dans la production agricole.**

On peut dire que la part du travail et celle du capital sont, ou plutôt étaient encore naguère, presque égales, celle du travail devenant toutefois de plus en plus prépondérante. L'existence du *métayage* en est une preuve. On sait que, dans ce mode de tenure de la terre, on voit une association entre un propriétaire qui fournit le sol, les animaux, les instruments de travail, tous les bâtiments, etc., c'est-à-dire la totalité du capital, et un métayer qui fournit du travail : les produits sont partagés également. Cela revient évidemment à admettre que l'action du travail et celle du capital sont équivalentes, puisqu'elles comportent une rémunération identique.

Cependant il convient de remarquer que cette importance relative des deux agents de production dépend, dans une très large mesure, des conditions économiques générales. Sur un

sol très fertile, avec des méthodes de cultures intensives, un outillage perfectionné, le rôle du capital tend à aller en croissant. Dans un sens contraire la baisse générale du taux de l'intérêt, conséquence inévitable de l'accroissement continu de la quantité de capitaux disponibles, et aussi du progrès de l'état social qui tend, dans nos états démocratiques, à améliorer de plus en plus le sort des travailleurs, a pour résultat d'augmenter la part du travail aux dépens de celle du capital (1). On trouve, dans les pays primitifs, des exemples de tenure où le cultivateur n'a droit qu'au cinquième du produit; le propriétaire, qui fournit le capital, prélève les quatre autres cinquièmes (2). En France le métayer retient la moitié des produits, et encore, le plus souvent, le propriétaire a-t-il seul à sa charge les impôts, l'entretien et l'amortissement de l'outillage, de sorte que sa part est réduite de moitié, ou à bien peu près. Du reste, même ce métayage, qui ne laisse au propriétaire que le tiers ou moins encore du revenu, tend à disparaître devant le fermage, mode de tenure où la part du capital apparaît moins nettement séparée de celle du travail, puisque le fermier fournit, de son côté, une part du capital d'exploitation.

Dans la production forestière, qui est un cas particulier de la production agricole, nous trouvons aussi les trois agents de production : le travail, les forces naturelles et le capital. C'est l'étude du rôle de ces trois agents qui formera l'objet de cette sixième étude.

(1) La plupart des conflits entre les fournisseurs de travail et ceux de capital, de plus en plus fréquents dans les sociétés modernes, ont précisément pour but d'accroître la part du travail dans le partage des produits. Dans l'industrie du bâtiment, d'après M. de Foville, les salaires ont haussé de 90 p. 100 de 1853 à 1890 tandis que la productivité des capitaux engagés a plutôt diminué. D'après M. Atkinson, cité par M. Lauglin dans sa dernière édition des œuvres de Stuart-Mill (*Principles of political Economy*, New-York, 1885), la part absorbée par le salaire de l'ouvrier dans la filature du coton serait actuellement quatre fois plus importante que celle du travail (0 fr. 085 à l'ouvrier, par mètre produit, contre 0 fr. 023 au capital, celui-ci étant supposé rémunéré au taux de dix pour cent). Depuis les relevés de M. Atkinson, qui s'appliquent à l'année 1884, les salaires ont haussé et le taux de l'intérêt à beaucoup baissé.

(2) Ce mode de tenure existe encore, dit-on, chez les Arabes de nos colonies d'Afrique ; c'est presque de l'esclavage ou du servage.



PREMIÈRE PARTIE

LE ROLE DU TRAVAIL HUMAIN

SOMMAIRE

Rôle subordonné du travail humain dans la production forestière. Variation de l'importance du travail humain suivant la nature des forêts : taillis, pignadas à gemme, taillis-sous-futaie, futaies.
Chiffres statistiques : salaire du travail humain employé dans les forêts en France, dans divers pays étrangers.

Le trait tout à fait caractéristique de la production forestière, parmi les autres productions agricoles, est le rôle relativement effacé du travail humain. Celui-ci apparaît sous ses deux formes de travail physique et de travail intellectuel. La forêt ne devient une source de produits réguliers et importants que lorsque le travail humain y a été appliqué pour réglementer, ordonner les récoltes, pour assurer leur formation ininterrompue par la naissance continue de nouveaux arbres destinés à remplacer ceux qu'on enlève, pour construire des routes, maisons, etc., etc., et, enfin, pour percevoir les récoltes. Cependant il faut bien reconnaître que la forêt, si l'on veut se contenter de récoltes très peu importantes, peut les fournir à peu près sans intervention de travail autre que celui de la récolte. Il est donc vrai de dire, dans une certaine mesure, que le travail humain n'a presque aucune part dans la formation du revenu de la forêt primitive (1), à laquelle l'homme ne demande qu'une

(1) C'est pourquoi, sans doute, dans toutes les sociétés humaines à leur début, la forêt était considérée comme un bien naturel commun à tous, tel que l'eau des fontaines et l'air atmosphérique.

petite quantité de ses produits spontanés. Cela cesse d'être exact dans le cas de la forêt exploitée, systématiquement mise en valeur.

Il reste vrai, cependant, que, même dans ce dernier cas, le rôle du travail est moins important en forêt que dans tous les autres genres de production industrielle ou même agricole. Il varie du reste suivant la nature des forêts. Lorsqu'on pratique la régénération naturelle, qu'on enlève de la forêt surtout des bois âgés, dont les frais de récolte sont très faibles, la part du travail se trouve réduite à son minimum. C'est le cas, par exemple, d'une sapinière jardinée avec âge d'exploitation avancé : l'homme n'a à fournir aucun travail pour la production ni l'amélioration des repeuplements, le revenu se forme presque sans son intervention, il n'a qu'à faire l'effort de se l'approprier avec ordre et mesure. Il n'en est plus de même dans une pineraie coupée à courts intervalles et dans laquelle le travail humain intervient périodiquement pour ensemencer, planter à nouveau le sol, souvent aussi pour protéger et améliorer la croissance des jeunes repeuplements. Dans des taillis à court terme, et surtout dans des taillis à écorces, ou bien encore dans des forêts comme les pignadas gemmées, les forêts de chêne-liège, le travail de la récolte prend une importance considérable, et ces catégories d'exploitations se rapprochent des exploitations industrielles où prédomine, comme on sait, la part du travail (1).

On peut admettre que, dans les futaies régénérées naturellement, la rémunération du travail humain n'absorbe guère plus des deux dixièmes au quart du revenu (2). Dans les taillis-sous-futaie, il en est déjà autrement : les frais de récolte sont plus élevés, certains travaux (émondages, dégagements, plantations,

(1) Voir la note 1 de la page 166.

(2) Cette proportion dépend des circonstances et ne saurait être précisée. En terrain fertile la production augmente tandis que les dépenses fixes de gestion, surveillance, sont les mêmes que dans des forêts peu productives. Enfin les traitements et salaires sont variables suivant les cas et chargent plus ou moins la production : nous en verrons un exemple plus loin, lorsque nous citerons quelques chiffres statistiques s'appliquant aux forêts françaises et étrangères.

etc.) doivent être renouvelés plus souvent, les frais de vente sont plus onéreux, etc., si bien que les salaires peuvent facilement absorber les deux cinquièmes de la production, plus ou moins suivant les circonstances et surtout suivant la proportion des bois d'œuvre dans la récolte. Dans des pignadas à gemme, la part du travail est encore plus considérable. Le gemmier (ouvrier qui récolte la résine) prend ordinairement pour sa part la moitié du produit, comme le métayer agricole. Il est vrai que le propriétaire profite seul du revenu ligneux qui peut être aussi important que celui de la résine, mais il supporte aussi seul l'impôt, les frais de garde, de gestion, de boisement, de travaux d'amélioration et d'entretien, si bien que, tout compte fait, la part du capital peut devenir inférieure à celle du travail, surtout dans les forêts particulières, presque toujours traitées à court terme, et dont le revenu-bois est peu important. Ce type de forêt se rapproche alors tout à fait d'une exploitation industrielle : rôle prépondérant du travail, élévation du revenu par rapport au capital engagé, variabilité et caractère aléatoire de ce revenu.

Citons quelques chiffres statistiques précis à l'appui de ce qui précède.

Dans les forêts traitées en futaie dépendant du service de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts (sapinières dans les Vosges), les frais de récolte s'élèvent à 6 p. 100 environ de la valeur du produit pour les coupes principales, à 11 p. 100 du produit pour les coupes intermédiaires. Dans les taillis-sous-futaie de ce même service cette proportion est de 17 p. 100.

Nous avons sous les yeux la comptabilité, bien exactement tenue, d'une forêt particulière très importante des environs de Nancy. Cette forêt croît en sol fertile et est traitée en taillis-sous-futaie à la révolution de trente ans avec une réserve abondante. Nous y voyons, comme moyenne de 3 années consécutives (1902 à 1904), les chiffres suivants :

Frais de récolte (salaires des bûcherons)............	8 fr. 05	par hect. ou	12.7	pour cent du revenu brut.
Travaux d'entretien divers (routes, maisons, émondages de réserves, etc.).....	5.80	—	7.4	—
Frais de surveillance, de publicité des ventes, de recouvrement.............	3.42	—	4.4	—
Frais de gestion..........	2.88	—	3.7	—
	20.15		27.2	

La Statistique forestière de Meurthe-et-Moselle donne les chiffres suivants pour les forêts domaniales de ce département pendant une période s'étendant de 1877 à 1887. Nous avons porté en regard les chiffres donnés par la Statistique officielle d'Alsace-Lorraine pour les forêts domaniales de ce pays pendant la même période.

	Meurthe-et-Moselle	Alsace-Lorraine	
	fr.	fr.	
Dépenses relatives au personnel des agents (1)...	0.85	5.99	par hectare et par an.
Dépenses relatives au personnel des préposés...	2.05	5.09	—
Exploitation des coupes et débardage des bois....	?	7.88	—
Travaux divers d'amélioration (2).............	1.20	5.26	—
Impôts.................	1.60	1.39	—
Revenu brut (3).........	37.95	46.33	—

(1) Le personnel allemand est à la fois plus nombreux pour une même étendue de forêt et surtout beaucoup mieux rétribué (plus de trois fois autant). Les forêts soumises au régime forestier que le traité de Francfort a cédées à l'Allemagne formaient, au moment de l'annexion, trois conservations presque entières (Strasbourg, Colmar et Metz) avec une petite partie de celle de Nancy, 14 inspections et partie de 4 autres, 46 cantonnements complets et 8 en partie. A présent le personnel comporte un directeur général (*Landesforstmeister*), trois conservateurs (*Oberforstmeister*), un certain nombre, que nous ne pouvons préciser, d'inspecteurs et soixante-dix chefs de cantonnement dont seize sont des *Revierförster* (préposés faisant fonction de chefs de cantonnement).

(2) Dans cette dépense, les frais de repeuplement artificiel après les coupes figurent, en Alsace-Lorraine, pour 1 fr 65 environ par hectare et par an.

(3) La supériorité du revenu brut en Alsace tient à ce que toutes les forêts

	Meurthe-et-Moselle	Alsace-Lorraine	
Revenu net.............	30.76	21.73	par hectare et par an.
Rapport des dépenses de tout ordre au revenu brut......................	19 p. 100	53 p. 100	

Dans l'ensemble des forêts domaniales françaises, les frais relatifs au personnel et aux travaux d'amélioration dans les forêts représentent 12,8 p. 100 du revenu brut, mais ils ne comprennent pas les frais de récolte. Si on estime ceux-ci à 12 p. 100 environ du revenu on arrive à un total de un quart environ de la valeur du produit absorbé par la rémunération du travail humain occupé à la production.

Le service forestier bavarois emploie, dans les forêts de l'Etat, 5 journées d'ouvrier par hectare et par an pour travaux relatifs à la récolte et à l'entretien des forêts (1) (routes, plantations, travaux divers). Le service prussien en emploie 4,5 et celui du grand-duché de Bade 5,7. En estimant à 2 fr. 60 le prix d'une journée de travail (2), on a donc, en frais de main-d'œuvre d'auxiliaires, une dépense de

13 fr. 00 par hectare et par an dans les forêts de Bavière,
11,70 — — Prusse,
14,80 — — du grand-duché de Bade.

Les dépenses relatives au personnel des fonctionnaires forestiers sont actuellement de 13 fr. 15 par hectare en Bavière et de

domaniales d'Alsace sont en futaie avec une forte proportion de sapinières, tandis qu'en Meurthe-et-Moselle les taillis-sous-futaie prédominent encore de beaucoup.

(1) On sait que la législation en vigueur dans l'Empire allemand oblige tous les employeurs à contribuer, par leurs versements, à l'alimentation d'une caisse destinée à servir des pensions de retraite aux travailleurs âgés. La contribution est calculée d'après le nombre de journées de travail employées; elle est due par l'Etat de même que par les particuliers. Grâce à cette circonstance, il est possible de connaître exactement le nombre de journées d'ouvriers employées pour l'exploitation des forêts domaniales.

(2) C'est le prix moyen payé actuellement en Alsace-Lorraine. En Prusse, le salaire varie de 1 fr. 80 à 3 fr. 25 pour les hommes, de 1 fr. à 1 fr. 90 pour les femmes en été, de 1 fr. 50 à 3 fr. pour les hommes, de 0 fr. 80 à 1 fr. 80 pour les femmes en hiver.

8 fr.80 environ en Prusse (nous manquons de renseignements récents pour le grand-duché de Bade) on aurait donc, comme dépenses relatives à la rémunération du travail humain engagé dans la production forestière :

26 fr. 15 par hectare et par an, soit 49 p. 100 du revenu en Bavière.
19.70 — 55 p. 100 environ du revenu en Prusse.

Dans l'ensemble des forêts domaniales allemandes, on estime que la contribution du travail humain à la production absorbe, pour sa rémunération, la moitié de la valeur du produit.

DEUXIÈME PARTIE

L'ACTION DES FORCES NATURELLES

CHAPITRE PREMIER

L'ACCROISSEMENT DES ARBRES

SOMMAIRE

§ 1. — ***Mode d'accroissement des arbres.***

Couches d'accroissement. Saison de végétation, saison de repos annuelles pour la croissance des racines, de la partie aérienne des arbres. Autographe de M. Friedrich. Bois de printemps, bois d'automne.

§ 2. — ***Analyses de tiges.***

Détermination de l'âge des arbres.
Mesure de l'accroissement en hauteur. Tracés graphiques.
Accroissements du diamètre, du volume.
Exemple d'une analyse de tige.

§ 3. — ***Tracés graphiques. Accroissements annuels et moyens.***

Tracés graphiques, généralités.
Accroissements annuels, accroissements moyens périodiques. Accroissement moyen. Relations entre l'accroissement annuel et l'accroissement moyen.

§ 4. — ***Recherche des lois de l'accroissement.***

Nécessité d'observations nombreuses, qui ne peuvent être faites que par des spécialistes.

§ 5. — ***Les lois de l'accroissement en hauteur.***

Rejets de souche, brins de semence. Maximum de la grandeur des accroissements. Influence des essences, des conditions de végétation, des traitements culturaux. Les réserves de taillis-sous-futaie.

§ 6. — ***L'accroissement transversal des arbres.***

Le diamètre à hauteur d'homme. Surface terrière.

§ 1er. — *Mode d'accroissement des arbres.*

Un arbre vivant modifie, avec le temps, sa *hauteur* et son *diamètre;* il en résulte des changements dans sa *forme* et dans son *volume.* Nous aurons à considérer successivement les variations de l'arbre à chacun de ces quatre points de vue.

Les arbres, dans nos pays où les climats présentent des saisons bien tranchées, forment, comme on sait, chaque année une couche ligneuse qui enveloppe entièrement les couches des années précédentes et qui constitue l'*accroissement annuel.* Nos arbres ont ainsi la forme d'une série de cônes emboîtés les uns dans les autres et le nombre de ces cônes indique leur âge.

Nous n'avons pas à nous étendre ici sur les causes et les procédés de l'accroissement. Rappelons seulement que l'arbre accroît son diamètre par la production de la couche cambiale, comprise entre l'écorce et le bois, et sa hauteur par le développement du bourgeon terminal. C'est ainsi que l'accroissement de la surface transversale d'une tige se fait uniquement par sa circonférence, l'allongement d'un axe uniquement par son extrémité. Les accroissements une fois formés restent rigides de

sorte que la position relative et la distance de deux points quelconques pris dans l'intérieur du corps d'un arbre restent invariables pendant toute la durée de la vie de cet arbre.

La période d'activité annuelle est plus ou moins longue suivant les climats. Dans la plus grande partie de la France, la saison de végétation dure environ 7 mois, d'avril à octobre; les différentes essences présentent du reste des différences assez marquées à cet égard. Dans nos montagnes, le temps d'activité apparente est beaucoup plus court ; aux limites supérieures de la végétation forestière, il n'est guère que de 5 mois. Dans le nord de la Finlande, la saison de végétation du pin sylvestre n'est que de 2 mois (1).

La période de repos hivernale est commune à tous nos végétaux forestiers, aussi bien à ceux qui conservent des feuilles en hiver qu'à ceux qui se dépouillent complètement à l'automne. Cependant elle ne s'étend pas en même temps à toutes les parties de l'arbre. Nous résumons ci-après l'état actuel de nos connaissances sur ce sujet intéressant.

Développement de la partie souterraine des arbres. — Le mode d'accroissement des racines est surtout intéressant à observer chez les jeunes plants, à cause des conclusions utiles qui découlent de cette étude pour la pratique des plantations. Nous devons à M. le Professeur Engler, directeur de la station de recherches forestières de Zurich, des travaux remarquables sur ce point (2). Nous en résumerons ici les principaux résultats.

1° Le développement et la production des racines ne sont pas continus pendant toute l'année. Ils sont interrompus par des périodes de repos qui, du reste, ne correspondent pas exactement à celles du repos des parties aériennes ;

2° Chez les résineux, la végétation des racines est entièrement

(1) On trouve de ces arbres jusque sur les rives du lac Enari, par 69° de latitude, dont les eaux sont gelées pendant dix mois de l'année.

(2) Voir le VIIe volume des *Mitteilungen* de la station de recherches suisse (Zurich, chez Fasi et Beer, 1903). Une analyse détaillée du mémoire de M. Engler se trouve dans le volume de 1904 de la *Revue des Eaux et Forêts* (Laveur, éditeur, 13, rue des Saints-Pères, Paris), pages 22 et suivantes.

suspendue de novembre jusqu'en mars ou avril. Chez les feuillus, au contraire, cette végétation ne subit aucune interruption bien nette (à Zurich), attendu qu'on voit les racines se développer même au milieu de cette saison dès que la température s'adoucit. Le mois de février et le commencement de mars sont les époques les moins favorables à la croissance des racines. Le ralentissement ou la suspension de la végétation en hiver sont des conséquences de l'abaissement de température du sol;

3° Si l'on compare les époques de réveil des organes aériens et souterrains au printemps, on constate en général que les racines se développent les premières. Ce phénomène est d'autant plus remarquable que le sol présente au premier printemps, comme on sait, une température plus basse que l'atmosphère. (Dans le lieu des observations, les relevés effectués depuis 19 ans montrent que la température moyenne du sol, en avril, est de 8°6 à 30 centimètres de 'profondeur, tandis qu'elle est de 10° dans l'air à 1 mètre du sol.) On peut donc considérer comme démontré que les racines de la plupart des essences (l'aulne et le mélèze font exception) se développent par des températures plus basses que celles qui sont nécessaires à la végétation des pousses aériennes. Pour les résineux, en général, le minimum de température nécessaire à la croissance des racines est de 5 à 6 degrés, pour l'érable sycomore et le hêtre il n'est que de 2 à 3 degrés;

4° En dehors du repos hivernal la végétation des racines subit encore une interruption due à la sécheresse du sol pendant l'été. Cette interruption peut durer de 3 à 8 semaines, suivant que son début est plus ou moins précoce;

5° Au repos estival succède, en octobre, une nouvelle période d'activité, plus intense et plus prolongée chez les feuillus que chez les résineux;

6° C'est au commencement de l'été que les racines se développent le plus rapidement. M. Engler a mesuré des accroissements allant jusqu'à 21 millimètres par jour chez un plant de chêne; le maximum moyen pour tous les plants observés de cette

essence étant de 11 millimètres et tombant dans les premiers jours de juillet (1).

Développement de la partie aérienne des arbres. — Dans la partie aérienne l'accroissement qui se manifeste le premier au printemps est l'allongement des axes. Il ne dure le plus souvent que six semaines à deux mois, à partir du premier réveil de la végétation. L'accroissement du diamètre commence plus tard et dure aussi plus longtemps. Des relevés faits avec soin au jardin botanique d'Edimbourg (2) pendant 20 années consécutives (de 1878 à 1897) ont fourni, comme moyenne d'un assez grand nombre d'arbres d'essences diverses, le résultat suivant :

Proportion de l'accroissement en circonférence à hauteur d'homme réalisé pendant le mois de :

Mars	0.0	pour 100 de l'accroissement	total annuel.
Avril	3.4	—	—
Mai	14.1	—	—
Juin	29.2	—	—
Juillet	29.4	—	—
Août	18.9	—	—
Septembre	5.0	—	—
Octobre	0.0	—	—
Avril à septembre	100.0		

(1) Les observations entièrement nouvelles de M. Engler justifient des pratiques depuis longtemps suivies par les forestiers, notamment quant à l'époque la plus favorable pour la plantation des feuillus et des résineux. Les conditions essentielles pour la réussite d'une plantation sont, en effet, les suivantes:

Aussitôt après la mise en terre les racines doivent entrer dans une période de croissance active afin de produire rapidement des organes d'absorption capables de faire face à la dépense en eau occasionnée par l'évaporation des parties aériennes. De même, il est nécessaire que la plantation s'effectue à l'époque où la transpiration est réduite à son minimum.

Ces conditions sont le mieux remplies (à Zurich) au printemps, lorsque la végétation commence à se réveiller. Dans les pays où l'été est sec, l'automne doux et humide, comme il arrive dans la France méridionale, et tout particulièrement lorsqu'on a à redouter des sécheresses au printemps, c'est au contraire l'automme qui est la saison la plus favorable. Si les feuillus se trouvent bien de la plantation en automne, cela tient à ce qu'ils perdent très peu d'eau par évaporation en hiver et à ce que leurs racines forment encore du chevelu avant l'arrivée des grands froids.

L'épicéa et l'érable sycomore se signalent par une végétation particulièrement vigoureuse et soutenue, pendant presque tout l'été pour le premier, toute l'année pour le second, de leurs organes souterrains. C'est à cette circonstance que M. Engler attribue, non sans vraisemblance, la facilité bien connue de leur reprise, même lorsqu'ils sont plantés en une saison qui serait défavorable à d'autres espèces.

(2) *Notes from the royal botanic Garden Edinburgh*, fascicules de décembre 1900

Si l'on divise la saison de végétation en trois groupes de deux mois on constate en général que plus de la moitié, parfois plus des deux tiers de l'accroissement se forment en juin-juillet. La plupart des essences observées forment au moins les trois quarts, parfois plus des huit dixièmes de leur accroissement en trois mois. Tel, par exemple, le frêne commun qui forme 87 p. 100 de son accroissement du 1er mai au 31 juillet, le tilleul qui forme 85 p. 100 du sien, et le chêne rouvre 79 p. 100 dans le même temps (à Edimbourg). Les frênes, chênes, bouleaux seraient particulièrement précoces, formant du cinquième au quart de leur accroissement en avril-mai, tandis que les robiniers, saules, marronnier d'Inde, aulne, peuplier, formeraient 25 à 45 p. 100 de leur accroissement dans les deux derniers mois de la saison. On a cru remarquer aussi que, pour une même essence, les arbres jeunes sont plus précoces que les sujets âgés.

Si nous entrons dans plus de détails encore, nous constatons que l'accroissement du diamètre à hauteur d'homme est très loin d'être continu pendant toute la saison de végétation. M. l'Oberforstrat Friedrich, directeur de la station de recherches forestières autrichienne, a imaginé, il y a une quinzaine d'années, un appareil en vue d'enregistrer, par des tracés graphiques analogues à ceux des baromètres enregistreurs, les variations les plus minimes de la circonférence des tiges d'arbres (1).

L'autographe Friedrich se compose de deux parties : l'une est adaptée à l'arbre et est mise en mouvement par les variations du diamètre ; l'autre, reliée à la première par un fil électrique, est placée dans le cabinet de l'observateur et permet à celui-ci d'observer commodément les moindres oscillations du diamètre des sujets d'expérience à n'importe quel niveau et à n'importe quel moment.

et août 1901. Les observations ont été faites jusqu'en 1882 par Sir Robert Christison et, à partir de cette date, par M. David Christison.

(1) Ce très remarquable appareil a figuré à l'Exposition de 1900, à Paris. Comme aucun journal forestier français ne l'a signalé, nous entrerons ici dans quelques détails à son sujet.

L'appareil fixé à l'arbre consiste essentiellement en un ruban d'acier roulant sur une série de galets disposés périphériquement sur le contour de la section dont on veut étudier les variations. L'une des extrémités est fixe, l'autre, attachée à un ressort ou mieux à un poids qui assure sa tension uniforme, actionne par l'intermédiaire d'un levier une série de roues dentées destinées à amplifier le mouvement.

Le dernier terme de la série provoque des oscillations d'une sorte de balancier en forme d'ancre ou de T dont l'une ou l'autre des branches horizontales s'abaisse suivant les dilatations ou les contractions de la tige de l'arbre, c'est-à-dire suivant les mouvements en arrière ou en avant de l'extrémité libre du ruban d'acier.

Le tout est combiné de telle manière qu'à chaque variation de un dixième de millimètre dans la circonférence de l'arbre correspond une oscillation du balancier.

Lorsqu'une branche du balancier vient à s'abaisser, son extrémité entre en contact avec le mercure renfermé dans un godet placé au-dessous d'elle et donne ainsi passage au courant fourni par une pile. Ce courant est transmis, au moyen d'un fil, à l'appareil enregistreur dont le mécanisme est analogue à celui des baromètres enregistreurs, sauf que le stylet traceur, au lieu d'osciller autour d'un centre fixe, se déplace rectilignement suivant une génératrice du cylindre sur lequel est enroulée la feuille qui reçoit le tracé et dont la rotation uniforme est provoquée par un mouvement d'horlogerie. Il en résulte que la courbe obtenue est rapportée immédiatement à deux axes rectilignes et perpendiculaires sur lesquels les coordonnées peuvent être mesurées facilement.

Les observations poursuivies, depuis plusieurs années déjà, par M. Friedrich, ont fourni des résultats consignés dans les *Mitteilungen* de la station autrichienne et dans diverses publications de langue allemande (1). Nous sommes heureux de

(1) *Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Œsterreichs*, 17e fascicule

pouvoir en présenter ici un résumé succinct aux lecteurs de langue française.

Lors de ses premières recherches, qui remontent aux années 1891-1895, les seules qui aient été publiées, M. Friedrich avait fixé son appareil à hauteur d'homme aux tiges d'un épicéa, d'un pin sylvestre, d'un pin noir d'Autriche, d'un érable sycomore, d'un hêtre (variété pourpre), d'un tilleul argenté et d'un ailante glanduleux; tous arbres âgés de 70 à 80 ans et croissant dans le parc de la station de recherches de Mariabrunn.

Voici les constatations auxquelles il est arrivé :

Les accroissements diamétraux des tiges d'arbres proviennent de deux causes : l'une, dont les effets sont durables, tient à la multiplication des cellules, l'autre, passagère, tient au gonflement des tissus par suite de la circulation de matières liquides dans les parties externes du bois et les régions avoisinantes de l'écorce.

Les accroissements durables se produisent presque uniquement pendant la nuit, au moment où les liquides existant dans l'arbre sont au repos et où la turgescence des cellules est maxima, ce qui est une circonstance favorable à leur multiplication. L'accroissement ne s'observe pendant le jour que lorsque l'atmosphère est saturée de vapeur d'eau et, par suite, la transpiration des feuilles supprimée ou très ralentie.

Dès les premières heures du jour (6 à 8 heures du matin, suivant les saisons), l'accroissement constaté la nuit se ralentit, puis est remplacé progressivement par une diminution de diamètre qui devient de plus en plus rapide jusque vers deux heures après-midi où elle est maxima. Elle s'affaiblit alors jusqu'au soir, où elle finit par faire place à un nouvel accroissement à l'entrée de la nuit. Pendant la saison de végétation, les dilatations nocturnes étant supérieures aux contractions diurnes, l'accroissement définitif résulte de leurs différences.

La contraction diurne est uniquement conditionnée par l'état

Vienne, chez Frick, 1897. Voir aussi divers articles parus dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen* et la *Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift*.

hygrométrique de l'air. Les tracés publiés par M. Friedrich dans le XXIII[e] volume du *Centralblatt* le montrent avec évidence. On remarque aussi que la contraction est beaucoup plus considérable dans le bois que dans l'écorce; elle peut atteindre un tiers de millimètre sur la circonférence d'un arbre de 28 centimètres de diamètre.

La contraction diurne s'observe toute l'année chez les arbres qui conservent leurs feuilles en hiver; elle est supprimée chez ceux à feuilles caduques pendant la saison où ils sont dépouillés.

Si maintenant on fait abstraction des oscillations journalières, on constate que l'accroissement diamétral commence à se manifester à Mariabrunn, suivant les années, à une époque variant des premiers jours d'avril à la fin de ce mois. Il devient de plus en plus rapide jusque vers la fin de mai, puis il se ralentit un peu pour recommencer à croître et passer par un second maximum, plus accentué que le précédent, vers le milieu de juillet; il a ordinairement cessé complètement dès le milieu d'août.

Les pins et l'ailante de Mariabrunn ont produit leur accroissement annuel en un temps notablement plus court que l'épicéa, le hêtre, l'érable et le tilleul, ce qui peut tenir à leur situation en un point mieux ensoleillé du parc.

L'humidité et la chaleur de l'air favorisent l'accroissement. Celui-ci est particulièrement considérable lorsqu'une pluie coïncide avec une élévation de température après une sécheresse prolongée.

Les grands froids de l'hiver produisent des contractions qui peuvent équivaloir en grandeur à un accroissement annuel. Les arbres résineux sont moins sensibles à cet égard, sans doute parce que leur cime préserve les fûts du rayonnement.

En revanche leur rétrécissement est très fort, lorsque, après de grands froids qui ont fait geler le sol profondément, l'atmosphère se réchauffe en restant sèche. La perte d'eau est alors énorme et peut amener une chute partielle des aiguilles.

Depuis ses premiers travaux, M. Friedrich a entrepris l'étude

de l'accroissement comparé aux divers niveaux sur les tiges. Les résultats ne tarderont pas à en être publiés dans les *Mitteilungen* de la station autrichienne.

L'activité végétative ne se réveille pas, au printemps, simultanément à tous les niveaux de la tige des arbres. On a cru remarquer que le développement du diamètre se manifeste d'abord dans le sommet des branches, puis il s'étendrait plus ou moins rapidement du haut en bas du fût. En général, c'est dans les parties de l'arbre où l'écorce est la moins épaisse que l'activité du cambium s'éveille d'abord; cela est surtout vrai pour les résineux en massif serré chez lesquels le bas du fût est souvent en retard de quatre semaines sur le haut du fût. Aussi le bois du pied de l'arbre, se développant plus tard, renferme-t-il moins de bois de printemps et est-il plus lourd et de meilleure qualité que celui du haut de la tige (1).

On observe, en effet, chez la plupart des essences une différence considérable entre les premières assises du tissu ligneux formées au printemps et celles déposées en dernier lieu; si bien qu'on a distingué depuis longtemps, dans une même couche annuelle, le bois de printemps et le bois d'automne. Certains auteurs ont voulu expliquer cette différence par la pression de l'écorce qui irait en augmentant pendant toute la saison de végétation (J. Sachs et H. de Fries), mais on a prouvé depuis qu'il n'en est rien. Le premier bois produit par un arbre au printemps se fabrique aux dépens des réserves alimentaires accumulées dans le bois et l'écorce et provenant de la végétation de l'année précédente. A cette époque non seulement les nouvelles pousses ne contribuent pas encore à l'alimentation du cambium, mais au contraire elles absorbent elles-mêmes une partie de la réserve pour achever leur développement. Plus tard, les pousses de l'année apportent leur contingent de matières nutritives et participent à la nutrition du cambium; la température est aussi

(1) Cette remarque, déjà faite par Duhamel en 1767 (*Traité du transport de la conservation et de la force du bois*), a été confirmée par tous les travaux ultérieurs.

plus élevée, ce qui concourt à donner au bois formé pendant la seconde partie de l'année un tissu plus serré, une densité et une solidité plus grandes.

La différence d'aspect entre le bois de printemps et celui d'automne n'est pas également nette chez toutes les essences, mais elle l'est généralement assez pour permettre de délimiter avec exactitude, à l'œil nu, sur une section transversale, les accroissements annuels successifs. C'est sur ce fait qu'est basé le procédé d'étude des accroissements des arbres que nous allons maintenant exposer.

§ 2. — *Analyses de tiges.*

Généralités. — La partie de beaucoup la plus intéressante des arbres est le fût, dont la valeur à l'unité de volume peut être vingt ou vingt-cinq fois plus forte que celle des branches. Le fût prolongé jusqu'au bourgeon terminal prend le nom de tige. C'est de l'accroissement de la tige que nous nous occuperons à peu près exclusivement, sauf à dire quelques mots des autres parties de l'arbre.

Il est évidemment facile, lorsqu'on dispose d'un nombre suffisant de sections prises à des niveaux connus dans une tige d'arbre, de tracer sa section longitudinale à tous les âges par lesquels elle a passé, puisqu'on peut, sur ces sections, mesurer directement le diamètre moyen à tous les âges et à tous les niveaux. Ces données suffisent donc pour pouvoir écrire l'histoire entière du développement de la tige depuis sa naissance. Nous appelons *analyse de tige* l'opération par laquelle on recherche sur un arbre, au moyen de l'étude de sections transversales, les diverses phases de ses accroissements (1).

(1) Les analyses de tiges sont connues et pratiquées en France depuis longtemps. On en trouve une indication dans le III° volume des *Annales forestières*, dans un article de M. de Lagibertie (1844). — Déjà M. Poirson, dans le 1er volume (1842) de ces Annales, avait donné le résultat de cinq analyses de tiges basées, il est vrai, sur l'étude d'une seule section. — Enfin, un article de M. Godchaux, dans le VIII° volume de la *Revue des Eaux et Forêts* (1869), prouve que de veritables

Lors des études du genre de celles qui nous occupent on substitue ordinairement aux accroissements annuels des accroissements *moyens périodiques*. C'est-à-dire que si l'on veut connaître l'accroissement de la hauteur pendant la 90ᵉ année, on mesure l'accroissement total d'une période, de 10 ans par exemple, s'étendant de 85 à 95 ans, et on en prend la dixième partie comme accroissement annuel à 90 ans. Ce procédé a l'avantage d'éliminer l'influence de circonstances exceptionnelles qui peuvent se présenter une année et en même temps de diminuer l'importance relative des erreurs de mesure.

Détermination de l'âge de l'arbre. — Supposons donc que nous ayons à notre disposition, pour l'analyser, la tige d'un arbre abattu. Nous commencerons par déterminer son âge en comptant les accroissements sur la souche ou sur la section la plus basse dont nous disposons. Il est important que cette section soit assez basse pour rencontrer la première pousse qui souvent ne s'élève pas à plus de quelques centimètres du sol.

Le comptage des couches annuelles ne présente ordinairement pas de difficultés. Lorsque les accroissements sont peu distincts, il suffit souvent de polir la section avec un rabot ou un instrument bien tranchant. Parfois l'usage de la loupe est nécessaire pour des accroissements très minces ; on peut aussi, dans ce cas, faire des sections obliques sur lesquelles les couches annuelles paraissent plus larges. Si ces moyens ne suffisent pas, on recourt à l'emploi de colorants. En forêt, il suffit habituellement de passer sur la section le doigt chargé d'un peu d'humus. Au cabinet on emploie divers procédés. Pour les bois qui ont les vaisseaux très petits on utilise de l'encre diluée d'eau, pour ceux à vaisseaux larges on emploie le bleu d'outre-mer. Certains auteurs recommandent de badigeonner successivement avec du ferrocyanure de potassium, puis avec du chlorure de fer. D'autres

analyses de tiges ont été faites par des commissions d'aménagement il y a plus de 35 ans, et les études sur l'aménagement de M. Tassy (dont la première édition date de 1872), renferment une description sommaire d'un procédé d'analyse de tiges (p. 75 de l'édition de 1887).

préfèrent de l'alcool coloré par de l'aniline, etc. Toutes ces matières colorent inégalement les différentes parties des couches annuelles qui, par suite de leurs porosités différentes, absorbent plus ou moins de colorant; les limites des couches annuelles sont ainsi rendues plus visibles.

On voit parfois des couches annuelles qui sont séparées en deux parties par une ligne qui peut faire croire à la présence de deux accroissements là où il n'y en a qu'un et produire des erreurs dans la détermination de l'âge. Ces fausses lignes d'accroissement tiennent à des suspensions momentanées de la végétation dues ordinairement à la perte des feuilles (par les dégâts des gelées, les ravages des hannetons,chenilles, etc.) ou à une sécheresse prolongée de l'été.

Le plus souvent les fausses lignes d'accroissement sont facilement reconnaissables à ce qu'elles ne se prolongent pas sur tout le tour ou toute la longueur de la tige. En les examinant à la loupe on voit que leur tissu plus serré passe par une transition insensible au tissu plus mou qui suit, tandis que la limite entre le bois d'automne d'un accroissement et le bois de printemps de l'accroissement suivant est très nettement tranchée. Les secondes évolutions de bourgeons en été,ou secondes pousses, ne donnent jamais lieu à de fausses lignes d'accroissement. Celles-ci, sans être très fréquentes, se rencontrent chez toutes les essences, surtout chez le cerisier et le troëne. où elles sont communes.

Aussi est-il toujours prudent, lorsqu'on compte les accroissements, de s'aider de couches caractéristiques qui servent de point de repère. Ainsi dans certaines régions la couche de 1858 est exceptionnellement étroite ; sur certaines essences, celle de 1870 est très large. En 1893, année de grande sécheresse, la couche d'accroissement a été extrêmement mince chez presque tous les arbres, surtout dans le Nord-Est de la France, etc.

Enfin, il peut arriver que des couches annuelles fassent défaut sur une des faces de l'arbre. Des arbres très dominés dans un massif continuent parfois à former des accroissements dans

le haut alors qu'il ne s'en produit plus dans le bas. On a même observé des jeunes épicéas et pins sylvestres qui, dans de très mauvaises conditions de végétation, sont restés plusieurs années sans former d'accroissements visibles.

Mais tous ces cas particuliers sont heureusement assez rares et, dans l'immense majorité des cas, on peut sans arrière-pensée accepter comme âge de l'arbre celui donné par le comptage des accroissements sur une section opérée au niveau du sol.

Mesure de l'accroissement en hauteur. — De même que le nombre d'accroissements visibles sur la section faite rez terre donne le nombre d'années écoulé depuis que la première pousse est sortie du sol, de même la section faite à un niveau h donnera, par le nombre de ses accroissements, le temps depuis lequel l'arbre s'est élevé au-dessus de la hauteur h.

En d'autres termes, si N est l'âge d'un arbre, H sa hauteur totale, n le nombre des couches visibles à un niveau h, on pourra dire que dans les n dernières années de sa vie l'arbre a crû de la quantité $H-h$; ou bien encore qu'à l'âge de $N-n$ l'arbre avait atteint la hauteur h.

Cette simple observation nous permet d'étudier le développement de la hauteur au moyen du seul comptage du nombre des couches annuelles à différents niveaux.

Remarquons que l'on peut faire varier h d'une quantité pouvant aller jusqu'à la longueur d'une pousse annuelle sans que n varie, de sorte que l'énoncé ci-dessus doit se modifier comme suit :

Si N est l'âge d'un arbre, H sa hauteur, n le nombre de couches visibles à une hauteur h, l'arbre a mis, à une année près et par défaut, $N-n$ années à atteindre la hauteur h, ou encore la hauteur h a été atteinte dans le courant de la $(N-n)^e$ année.

Exemple (1). — Supposons que nous ayons pris dans la tige d'un sapin âgé de 88 ans, dont la hauteur totale était de 23 m.50,

(1) Ce sapin, qui provenait de la forêt domaniale de Celles (Vosges), où il avait crû en terrain du grès vosgien, à l'altitude de 350 mètres, dans un peuplement d'origine naturelle, a été analysé en 1900 par les élèves de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts.

des rondelles qui nous donnent les sections aux niveaux de 0 m. 00, 1 m. 50, 4 m. 50, 7 m. 50, 10 m. 50, 13 m. 50, 16 m. 50, 19 m. 50 et 22 m. 50. Nous comptons les accroissements sur chaque section et formons le tableau ci-après :

Hauteur des sections	Nombre de couches annuelles visibles	Age auquel la hauteur des sections a été atteinte
0 m.00	88	0 années
1.50	78	10
4.50	70	18
7.50	57	31
10.50	49	39
13.50	40	48
16.50	28	60
19.50	17	71
22.50	0	88

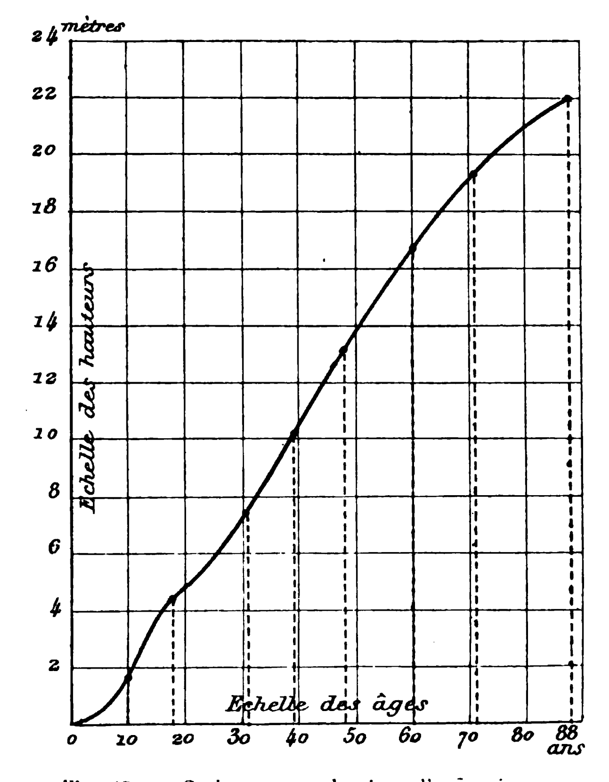


Fig. 47. — Croissance en hauteur d'un sapin.

Ce tableau nous donne, à une année près, et par défaut, les âges auxquels ont été atteintes les hauteurs 1 m. 50, 4 m. 50, 7 m. 50, etc. Si nous voulons connaître les hauteurs à des âges de 10, 20, 30, ans etc., nous emploierons le procédé d'interpolation graphique ci-après.

Soient (figure 47) deux axes de coordonnées rectangulaires, construisons une courbe dont les abscisses soient proportionnelles à l'âge de l'arbre et les ordonnées aux hauteurs correspondantes.

Les données du tableau ci-dessus nous permettront de fixer un certain nombre de points de cette courbe ; nous la traçons d'un trait continu et une simple mesure d'ordonnée nous permet alors de déterminer la hauteur à un âge quelconque.

C'est ainsi que pour l'exemple choisi nous trouverons les résultats suivants :

Ages — années.	Hauteurs — mètres.	Accroissements périodiques — mètres.	Accroissements moyens périodiques ou annuels — mètres.
0	0.0		
		1.5	0.15
10	1.5		
		3.3	0.33
20	4.8		
		2.3	0.23
30	7.1		
		3.5	0.35
40	10.6		
		3.2	0.32
50	13.8		
		2.7	0.27
60	16.5		
		2.7	0.27
70	19.2		
		1.7	0.17
80	20.9		
		1.6	0.20
88	22.5		

Accroissement transversal. — Soit un arbre âgé de 100 ans, pour rechercher comment son diamètre a crû au niveau h, découpons une rondelle qui nous donne sur une de ses faces (1) la section au niveau h. Faisons aplanir et polir avec soin cette section. Nous comptons ses accroissements : ils sont au nombre

(1) On choisit ordinairement la face inférieure à cause de la rondelle de base dont il y a intérêt à considérer la face la plus rapprochée du sol.

de 35, ce qui nous montre déjà que l'arbre a mis 100—35 = 65 ans à atteindre le niveau h, de sorte que les accroissements formés à ce niveau sont dus aux 35 dernières années de sa vie.

Pour connaître la grandeur du diamètre à 90 ans, comptons à partir de la circonférence de la rondelle 10 couches annuelles et nous arrivons à la limite du 90e accroissement dont nous suivons exactement le tour au crayon. Nous mesurons son diamètre, puis nous recommençons à compter 10 couches en allant toujours de la circonférence vers le centre et nous délimitons le 80e accroissement dont nous mesurons encore le diamètre, et ainsi de suite. Nous pouvons, par ce procédé, trouver la valeur du diamètre à tous les âges et à tous les niveaux.

Pour obtenir le diamètre moyen d'une section, il suffit, lorsque son contour est sensiblement une circonférence de cercle, de mesurer deux diamètres perpendiculaires. Si la forme de la section est plus irrégulière, sans pourtant être trop sinueuse (comme c'est le cas pour le chêne, le hêtre, etc.), on mesure 3 ou 4 diamètres faisant entre eux des angles égaux et on en prend la moyenne. Dans le cas de contours très irréguliers, au lieu de mesurer des diamètres, on mesure la surface de la section et on prend comme diamètre moyen celui du cercle de même surface. Voici comment on opère dans ce dernier cas. On trace d'une façon convenable (fig. 48) quatre diamètres OA, OB, OC, OD déterminant quatre secteurs dont les angles au centre sont α et β. On mesure alors la surface des secteurs OAMB en la décomposant en un triangle OAB dont on calcule facilement la surface et en un segment AMB dont on mesure l'aire au planimètre après en avoir

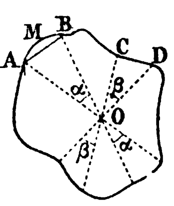


Fig. 48.

décalqué le contour sur une feuille de papier, si cela est nécessaire. Connaissant la surface des quatre secteurs on la multiplie par le rapport $\frac{360}{2\,\alpha + 2\,\beta}$ ou $\frac{180}{\alpha + \beta}$, α et β étant les angles au centre mesurés en degrés et on a ainsi la surface de la section. Il est inutile de faire remarquer que tout cela suppose que



la face de la rondelle sur laquelle on opère est bien plane.

Des accroissements du diamètre on déduit ceux des surfaces transversales ou accroissements circulaires au moyen de tables spéciales (1).

Accroissement du volume. — Nous possédons maintenant tous les éléments nécessaires pour calculer aussi exactement que nous le voudrons le volume de la tige à tous les âges, par exemple à des intervalles de 5 ou de 10 ans, qui sont ceux ordinairement adoptés. Connaissant les volumes à 5, 10, 15 ans, etc., rien n'est plus facile que d'en déduire les accroissements périodiques et ceux moyens périodiques ou annuels.

Exemple d'une analyse de tige. — L'arbre dont la tige a été analysée est un hêtre provenant d'une forêt traitée en taillis sous futaie dans les environs de Nancy. Il était âgé de 101 ans au moment où il a été abattu; le taillis avait été exploité autour de lui aux moments où il avait l'âge de 50 et de 90 ans.

NIVEAU des sections	NOMBRE total des cernes	DIAMÈTRES EN MILLIMÈTRES Aux différents niveaux. aux âges de ans									
		101	90	80	70	60	50	40	30	20	10
mètres.											
0.10	100	578	472	402	330	270	148	86	58	36	22
1.30	95	458	380	332	274	220	118	74	44	26	14
3 90	86	417	340	293	244	196	113	67	41	13	»
6.50	75	390	314	271	219	171	90	44	17	»	»
8.80	68	354	286	236	184	134	66	24	»	»	»
11.10	64	318	256	204	148	94	40	4	»	»	»
13.70	54	251	201	149	96	54	11	»	»	»	»
16.30	45	180	130	90	50	14	»	»	»	»	»
18.90	31	96	65	35	0	»	»	»	»	»	»
21.50	16	34	12	»	»	»	»	»	»	»	»
23.40	6	7	»	»	»	»	»	»	»	»	»
24.20	0	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Le comptage des cernes (accroissements annuels) et le mesurage des diamètres aux différents âges sur les rondelles préle-

(1) Voir la table que nous donnons en appendice de cette étude (pages 383 et suiv.).



vées à différents niveaux ont donné les résultats consignés au tableau ci-dessus (1).

Les données renfermées dans le tableau ci-dessus suffisent à reconstituer exactement toutes les dimensions de l'arbre à tous les âges antérieurs. Nous pouvons en déduire sans difficulté les éléments du tableau qui va suivre, où l'on trouvera l'indication des grandeurs successives de la hauteur, du diamètre à hauteur d'homme et du volume de la tige.

(1) En réalité, les accroissements ont été relevés de 5 en 5 ans ; nous ne donnons ici que les chiffres relatifs à des périodes de 10 ans pour ne pas compliquer le tableau. Ce sont les accroissements de 5 en 5 ans qui ont servi à la construction des figures 50 à 53 et qui sont portés au tableau qui va suivre.

Analyse de la tige d'un hêtre âgé de 101 ans
Arbre de réserve dans un taillis sous futaie

Hauteur totale, 22 m. 40. Hauteur du fût, 9 m. Hauteur du tronc, 13 m.

AGES	GRANDEURS SUCCESSIVES						
	du diamètre à hauteur d'homme	de la hauteur totale	du volume de la tige	de l'accroissement périodique moyen			du taux d'accroissement du volume
				du diamètre	de la hauteur	du volume	
ans	millim.	mètres	décim. cubes	millim.	centim.	décim. cubes	%
5	»	1 05	»				
				3	28	»	»
10	14	2.5	0.30				
				1.2	29	0.10	22
15	20	3.9	0.82				
				1.2	25	0.18	16
20	26	5.2	1.73				
				1.6	21	0.36	16
25	34	6.25	3.64				
				2.0	29	0.86	17
30	44	7.7	7.89				
				3.6	43	1.5	14
35	62	9.9	15.2				
				2.4	44	2.0	11
40	74	12.1	25.4				
				4.0	24	4.3	13
45	94	13.3	47.1				
				4.8	23	7.3	12
50(1)	118	14.45	83.6				
				10 4	31	16	15
55	170	16.0	165				
				10.0	24	27	12.5
60	220	17.2	298				
				6.0	18	2	6.4
65	250	18 1	406				
				4.8	16	21	4.7
70	274	18.9	511				
				6.0	17	29	5.1
75	304	19.75	654				
				5.6	17	32	4.4
80	332	20.6	814				
				4.4	18	31	3.5
85	354	21.5	970				
				5.2	20	38	3.6
90(1)	380	22.5	1158				
				7.6	18	56	4.5
95	418	23.4	1439				
				5.6	14	66	3.5
101	452	24.2	1771				

(1) Epoques de la coupe du taillis.

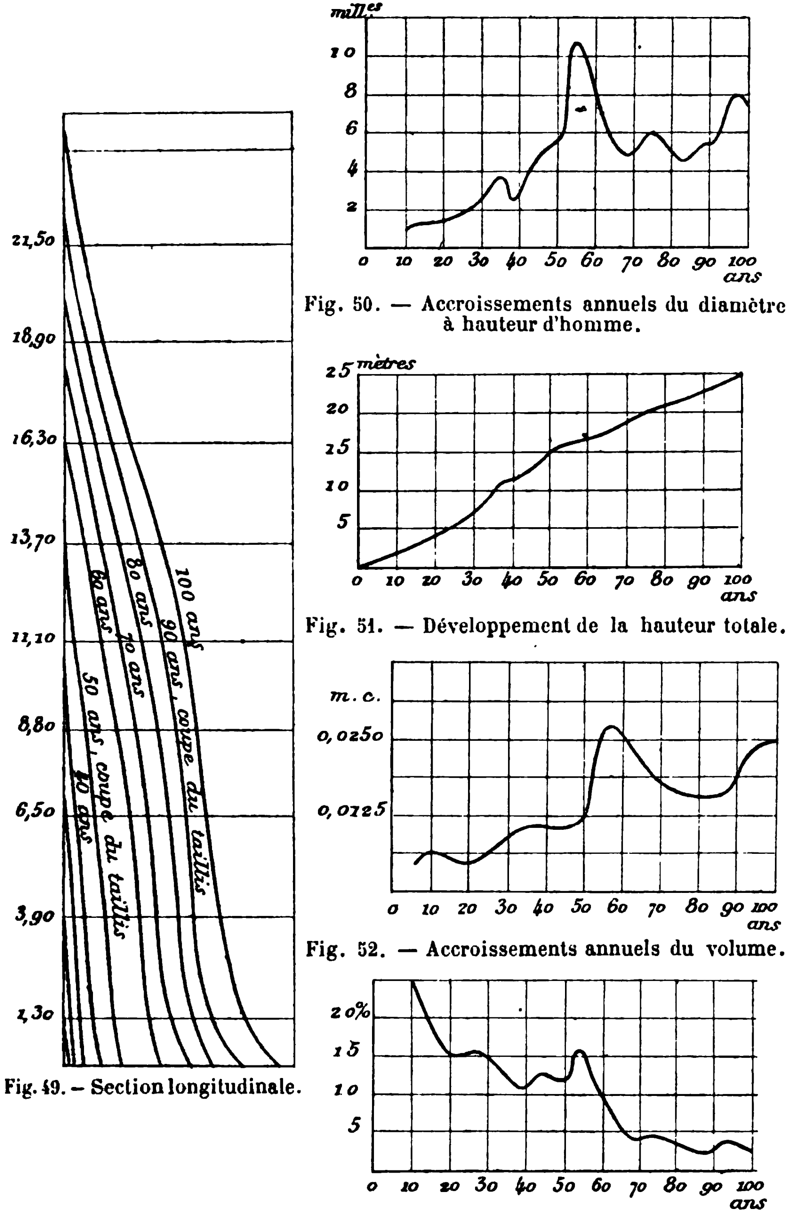


Fig. 50. — Accroissements annuels du diamètre à hauteur d'homme.

Fig. 51. — Développement de la hauteur totale.

Fig. 52. — Accroissements annuels du volume.

Fig. 49. — Section longitudinale.

Fig. 53. — Taux d'accroissement du volume.

§ 3. — *Tracés graphiques. — Accroissements annuels et moyens.*

Tracés graphiques. — Lorsque nous étudierons les variations d'une des grandeurs — hauteur, forme, volume, etc. — que nous considérons dans un arbre ou dans un peuplement, nous le ferons toujours en fonction du temps; c'est-à-dire que supposant le temps (l'âge) croissant uniformément nous chercherons comment varie, avec le temps, la grandeur considérée.

Nous savons que les accroissements se font d'une manière intermittente, l'activité végétative restant suspendue pendant une partie de l'année. Si nous voulons, par exemple, considérer la hauteur d'un arbre comme une fonction du temps qui s'est écoulé depuis sa naissance, ou de son âge, cette fonction sera une fonction discontinue.

Traçons deux axes de coordonnées et portons comme abscisses des longueurs proportionnelles au temps et comme ordonnées des longueurs proportionnelles à la hauteur, nous aurons, pour représenter le développement de la hauteur, la ligne tracée en trait plein sur la figure 54, c'est-à-dire une série de lignes courbes, correspondant aux périodes d'activité, reliées par des droites horizontales correspondant aux périodes de repos.

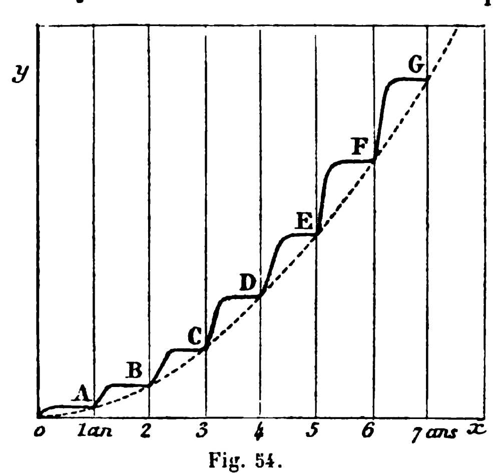


Fig. 54.

A la ligne ainsi tracée, substituons-en une que nous obtiendrons en joignant par un trait continu les points A, B, C, D, etc.; cette dernière pourra, sans inconvénient pour nos études, rem-

placer la précédente. En effet, nous ne considérons les grandeurs que nous observons qu'aux âges de 1, 2...... n ans révolus et, pour ces âges, la deuxième courbe donne les mêmes valeurs que la première. Tout se passe, avec cette restriction que nous ne considérons que les points correspondant exactement aux âges, 1, 2..... n, comme si la loi de variation de la hauteur était réellement représentée par la ligne courbe ABCD tracée en pointillé sur la figure 54.

Nous pouvons, grâce à cet artifice, considérer les développements en hauteur, diamètre, etc., comme des fonctions continues du temps, les représenter par des courbes, et appliquer à ces courbes les principes du calcul différentiel.

Accroissements annuels et moyens. — Nous avons vu que si a est l'accroissement pris par un arbre pendant une période de p années, on donne à la grandeur a le nom d'accroissement périodique et le quotient $\frac{a}{p}$ se nomme l'accroissement moyen périodique. Si nous faisons commencer la période à la naissance de l'arbre, l'accroissement périodique deviendra l'accroissement total et l'accroissement moyen périodique sera l'accroissement moyen total ou, par abréviation, l'accroissement moyen. Celui-ci est donc la moyenne arithmétique de tous les accroissements annuels depuis la naissance jusqu'à l'âge considéré. Si H_n est la hauteur d'un arbre à l'âge n, et α_n son accroissement moyen à cet âge, et $a_1\ a_2\ a_3.....\ a_n$ ses accroissements annuels pendant les 1re, 2e... ne années, nous aurons, par définition :

$$\alpha_n = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n}{n} = \frac{H_n}{n}.$$

Relations entre l'accroissement annuel et l'accroissement moyen.— Soit MN une courbe rapportée aux axes de coordonnées Ox, Oy (fig. 55). Soit OP l'abscisse du point M. La tangente de l'angle MOP a pour mesure le rapport $\frac{MP}{OP}$. Si MP représente une

hauteur H_n, OP sera l'âge correspondant n, et $\frac{H_n}{n}$ est l'accroissement moyen à l'âge n. D'où cette conclusion que l'accroissement moyen à un âge OP est mesuré par le coefficient angulaire de la droite OM.

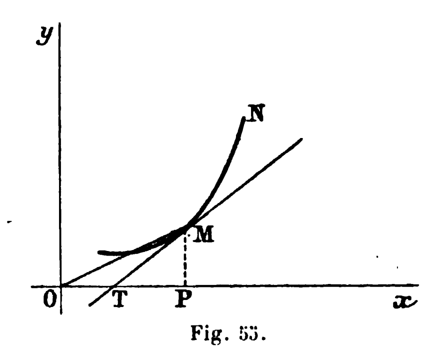


Fig. 53.

D'un autre côté, soit MT la tangente en M. Le coefficient angulaire de MT, ou tangente trigonométrique de l'angle MTP est $\frac{dy}{dx}$. Si nous mesurons (comme nous sommes convenus de le faire) l'accroissement de l'ordonnée en prenant pour unité celui de l'abscisse, la tangente MTP mesurera la rapidité de l'accroissement à l'âge considéré OP.

Ainsi pour un âge quelconque OP l'accroissement courant (ou annuel) sera représenté par le coefficient angulaire de la tangente au point correspondant à cet âge, et l'accroissement moyen par celui de la ligne qui joint le point en question à l'origine.

Si l'accroissement de la grandeur considérée va en augmentant, si son développement devient de plus en plus rapide, le coefficient angulaire de la tangente à la courbe ira en augmentant et cette courbe sera concave vers le haut (1). Si les accroissements, après être allés en grandissant, passent par un maximum, puis décroissent, la courbe, d'abord concave, deviendra convexe et le point d'inflexion correspondra à l'époque du maximum de l'accroissement.

(1) Cela peut passer pour évident. Cependant, on démontre dans les cours de calcul différentiel qu'une courbe est concave ou convexe vers le haut (est au-dessus ou au-dessous de sa tangente) au point x, y, suivant que $\frac{d^2y}{dx^2} \gtrless 0$, c'est-à-dire suivant que $\frac{dy}{dx}$ va en augmentant ou en diminuant.

Or, nous verrons bientôt que la plupart des grandeurs que nous avons à étudier suivent, en effet, cette marche dans leur développement. L'accroissement devient de plus en plus rapide pendant les premières années de la vie; puis il reste un moment stationnaire, passant par un maximum à partir duquel il décline d'une façon continue. La loi de variation de notre grandeur sera donc représentée graphiquement par une courbe passant par l'origine et en forme de $\int$, c'est-à-dire d'abord concave, puis convexe (fig. 56).

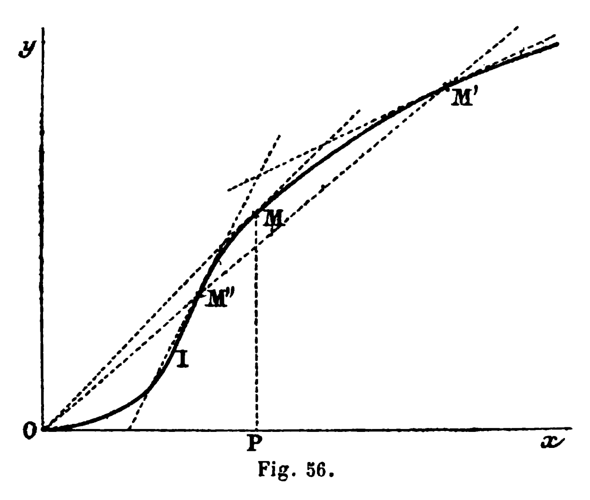


Fig. 56.

Menons par l'origine une tangente OM à cette courbe.

Le point de contact — unique — M sera, d'après ce que nous venons de voir, au delà du point d'inflexion I. Pour ce point M l'accroissement moyen et l'accroissement annuel seront égaux. Il est du reste évident que la tangente MOP est la plus grande valeur que puisse prendre le coefficient angulaire d'une ligne analogue à MO puisque, par hypothèse, la courbe restant convexe vers le haut à partir du point I, elle est entièrement au-dessous d'une de ses tangentes.

Or, la forme même de la figure nous montre que pour tout point M' correspondant à un âge plus élevé que celui auquel correspond M, le coefficient angulaire de la ligne OM' sera plus

grand que celui de la tangente M'T', tandis que pour un point M", à gauche de M, ce sera le contraire. Nous en concluons immédiatement ce théorème important (1).

Si l'accroissement courant (ou annuel) passe pour un maximum unique, il en sera de même pour l'accroissement moyen;

Au moment de son maximum, l'accroissement moyen est égal à l'accroissement courant;

Le maximum de l'accroissement moyen se produit plus tard que celui de l'accroissement courant;

Avant son maximum, l'accroissement moyen est inférieur à l'accroissement courant et il lui est supérieur après.

Ces relations entre les accroissements courants (ou annuels) et les accroissements moyens sont d'une réelle importance (2). Nous en donnerons encore une autre démonstration.

Soit x l'âge, notre variable indépendante, y la grandeur que nous étudions. L'accroissement annuel ou courant à l'âge x est $\frac{dy}{dx}$, l'accroissement moyen $\frac{y}{x}$.

L'accroissement moyen ira en croissant, passera par un maximum, ou ira en décroissant suivant que sa différentielle sera positive, nulle ou négative, c'est-à-dire suivant que

$$\frac{x\frac{dy}{dx} - y}{x^2} \gtreqless 0$$

Or, si $x\frac{dy}{dx} - y$ ou $\frac{dy}{dx} - \frac{x}{y} > 0$ l'accroissement moyen sera inférieur à l'autre. Il en résulte que tant que l'accroissement moyen est le plus petit des deux, il va en croissant avec l'âge, qu'il passe par un maximum lorsqu'il est égal à l'accroissement annuel, puis il va en décroissant et est supérieur à l'accroissement annuel.

(1) Cette démonstration graphique est extraite de notre livre *les Arbres et les peuplements forestiers*, 1893.

(2) En effet, ce sont les accroissements annuels qu'on observe sur le terrain, tandis que ce sont les accroissements moyens qui interviennent pour influencer le revenu d'une forêt aménagée.

§ 4. — *Recherche des lois de l'accroissement.*

Si nous faisons abattre un arbre dans une parcelle de forêt et que, par l'analyse de sa tige, nous étudiions les lois de son développement, nous constaterons, en général, des irrégularités plus ou moins grandes. L'accroissement se fera souvent d'une manière capricieuse; tantôt il ira en croissant, tantôt en décroissant, passant par une succession de maxima et de minima plus ou moins nombreux.

A côté de ce premier arbre prenons-en plusieurs autres, de même essence, nés à la même époque, ayant crû sur le même sol, sous le même climat et dans des conditions parfaitement identiques. Etablissons pour chacun d'eux la hauteur par exemple, de 5 en 5 ans, faisons les moyennes de toutes les hauteurs pour le même âge. Si nous construisons maintenant un tracé graphique du développement de la hauteur, en nous servant de ces moyennes, nous voyons que les irrégularités seront bien atténuées. Si nous prenons des arbres suffisamment nombreux, et si nous avons soin de les choisir réellement comparables à tous égards, nous finissons par éliminer les variations individuelles ou accidentelles qui viciaient chacun de nos résultats isolés et nous obtenons une ligne qui nous représente exactement la loi naturelle du développement de la hauteur dans les conditions où nous nous sommes placés.

Changeant alors de champ d'expériences nous pourrons étudier la même essence sous un autre climat, ou sur un autre sol, ou soumise à un traitement différent; nous en déduirons l'influence du sol et du climat (influence qu'on réunit ordinairement sous le nom de *conditions de station*) et du traitement sur le développement des essences.

Il est bien certain qu'on n'arrive ainsi à des résultats sérieux qu'au moyen d'un très grand nombre de mesurages, et c'est ici que se manifeste la nécessité d'un personnel spécial, puissam-

ment organisé pour se livrer à des recherches de ce genre avec les pouvoirs et aux frais d'une administration. Vouloir déduire les lois de la végétation d'un petit nombre d'observations faites sur des arbres pris çà et là, ayant crû dans des conditions diverses, souvent anormales et presque toujours inconnues, est évidemment une entreprise chimérique. Aussi ne citerons-nous les résultats fournis par des recherches de ce genre que lorsqu'ils concorderont avec ceux obtenus par des expériences pratiquées sur une plus large échelle.

§ 5. — *Les lois de l'accroissement en hauteur des arbres.*

Nous ne nous occuperons ici que des arbres nés de semence. Les rejets de souche ne sont à proprement parler que des sortes de branches excrues au niveau du sol d'une tige ravalée à ce niveau; leur végétation varie suivant la plus ou moins grande facilité avec laquelle l'essence considérée produit de ces rejets et aussi suivant l'âge de la tige qu'on a récépée. Généralement les rejets de souche ont un développement beaucoup plus rapide que les brins de semence, leurs accroissements annuels, en hauteur et en diamètre, atteignent leurs maxima dès les premières années de leur vie. En revanche, la croissance cesse de bonne heure, surtout sur les rejets de vieille souche. La différence entre le développement initial d'un rejet et celui d'un semis est d'ailleurs d'autant plus grande que la souche mère du rejet est plus âgée.

Si nous considérons donc les brins de semence, on constate que, pour toutes les essences forestières, l'accroissement en hauteur est faible dans les premières années. Vers l'âge de 3 à 5 ans, ou même plus tard pour certaines essences, il augmente rapidement, si bien qu'il atteint sa valeur maxima à un âge très peu avancé, entre 10 et 50 ans, suivant les circonstances et les essences. Il ne se maintient généralement que peu de temps à cette valeur maxima et baisse assez rapidement chez les essences dont la croissance a été prompte au début (comme le pin, le

mélèze, l'épicéa), plus lentement chez les autres, et finit par tomber à une valeur très faible (5, 10 centimètres) à laquelle il se maintient longtemps.

L'accroissement en hauteur ne cesse complètement, chez des arbres placés dans de bonnes conditions, qu'à un âge très avancé; plus tôt chez le pin et la plupart des feuillus que chez le sapin et l'épicéa. Ce dernier présente, surtout dans les forêts de montagne, un accroissement en hauteur soutenu jusqu'au delà de 200 ans. Le hêtre continue de même à s'élever encore notablement jusqu'à 150, 160 ans.

La longueur absolue des pousses annuelles varie suivant les essences. Les accroissements les plus rapides sont ceux qu'on observe chez les jeunes pins sylvestres, mélèzes et épicéas. Le hêtre et le sapin restent sensiblement en arrière dans la jeunesse, mais, grâce à ce fait que leur accroissement persiste plus longtemps, ils finissent néanmoins par atteindre des hauteurs plus grandes que le pin ou le mélèze.

Les conditions de sol et de climat ont une influence prépondérante sur la marche comme sur la grandeur absolue des accroissements.

L'accroissement annuel en hauteur culmine d'autant plus tôt que les conditions de végétation sont meilleures. Sur des sols médiocres, ou dans les stations élevées de la montagne, les variations de l'accroissement annuel sont faibles; on peut dire qu'il reste presque constant toute la vie de l'arbre (voir fig. 57 à 60).

L'accroissement en hauteur est si intimement lié aux conditions de sol et de climat que certains auteurs l'ont considéré comme caractéristique de ces conditions (1). Tous les forestiers savent qu'aux limites de leurs stations la plupart de nos arbres, même lorsqu'ils forment encore massif, dégénèrent en buissons. D'autre part, sous un même climat, les hauteurs totales que

(1) Voir *Traité d'aménagement*, par de Perthuis (an VII et an XI), pp. 166 et suivantes, où l'auteur exprime très clairement cette idée qu'on peut *mesurer* la qualité du sol par la longueur des pousses annuelles.



peuvent atteindre des arbres varient au même âge du simple au triple ou même au quadruple. C'est ainsi que l'épicéa qui, dans les bons sols, atteint 36 à 40 mètres de hauteur, ou même parfois davantage, ne dépasse guère une dizaine de mètres lorsqu'il se trouve dans des conditions très défavorables. Parmi les caractéristiques du sol, c'est surtout la profondeur qui influe sur la hauteur des arbres.

On a remarqué que l'on pouvait hâter le développement en

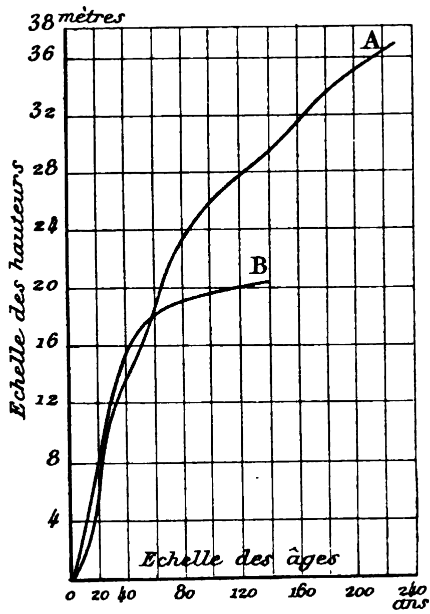


Fig. 57. — Croissance en hauteur de deux chênes.

A. Chêne rouvre provenant de la forêt de Bellême (Orne) ayant crû en massif de futaie pleine.

B. Chêne pédonculé provenant de la forêt de Champenoux (Meurthe-et-Moselle); arbre réserve d'un taillis-sous-futaie.

Fig. 58. — Croissance en hauteur de deux hêtres.

A. Hêtre provenant de la forêt de Villers-Cotterets (Aisne) ayant crû en massif de futaie pleine.

B. Hêtre provenant de la forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle); arbre réserve d'un taillis-sous-futaie.

hauteur de jeunes sapins en contrariant artificiellement, par la taille, le développement latéral de la cime (1). C'est sans doute

(1) Voir, dans le volume de 1890 de la *Revue des Eaux et Forêts*, un article de M. Mer, attaché à la station de recherches de Nancy, intitulé : *Moyens d'activer l'allongement des jeunes sapins.*

à cette même cause que l'on doit attribuer la hauteur beaucoup plus grande qu'atteignent les arbres croissant en massif par rapport à ceux qui vivent à l'état isolé. Cependant il est bon de remarquer que dans les massifs par trop denses les arbres ont une végétation languissante et s'élèvent moins que dans des massifs convenablement éclaircis.

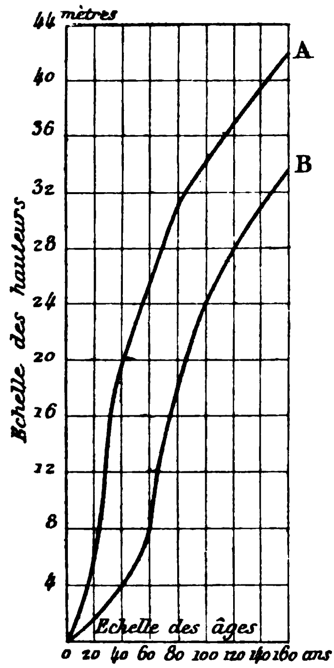


Fig. 59.— Croissance en hauteur d'un épicéa et d'un sapin.

A. Epicéa provenant de la forêt de la Fuvelle (Doubs) ayant crû en massif régulier de futaie pleine à l'altitude de 850ᵐ (régénération naturelle).

B. Sapin pectiné provenant de la forêt de Cornimont (Vosges) ayant crû dans un peuplement de forme jardinée à l'altitude de 750ᵐ (régénération naturelle).

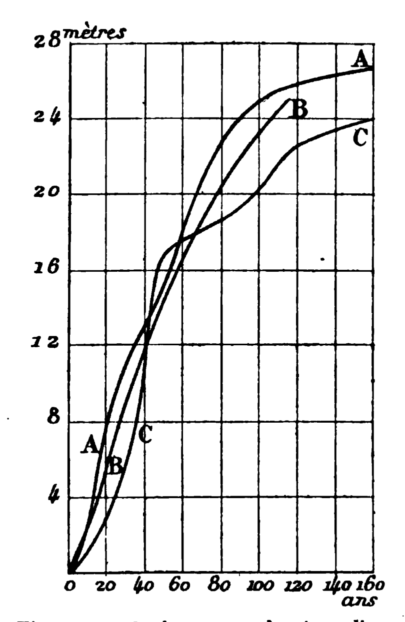


Fig. 60. — Croissance en hauteur d'arbres résineux.

A. Pin sylvestre provenant de la forêt de Saint-Dié (Vosges) ayant crû en massif régulier de futaie pleine d'origine artificielle à l'altitude de 400ᵐ.

B. Pin maritime (non gemmé) provenant de la forêt de Bagnols (Var). Altitude 260ᵐ.

C. Mélèze provenant de la forêt de Saint-Chaffrey (Hautes-Alpes). Altitude 1550ᵐ.

Les figures 57 à 60 sont destinées à montrer le développement en hauteur d'un certain nombre d'arbres choisis dans diverses régions de notre pays. Elles sont empruntées à des travaux d'a-

nalyses de tiges effectuées en 1888 par M. Bartet, attaché à la station de recherches de l'Ecole nationale forestière (1).

Ce même forestier a cru remarquer que les chênes réservés dans les taillis-sous-futaie présentent, dans les années qui suivent les coupes du taillis, un ralentissement d'activité dans leur accroissement en hauteur (2). Ce fait mériterait d'être confirmé.

§ 6. — *L'accroissement transversal des arbres.*

Accroissements du diamètre à hauteur d'homme. — Si nous pratiquons une section tout près du sol dans la tige d'un arbre et si nous examinons, en partant du centre, l'épaisseur des couches annuelles, nous observons les faits suivants :

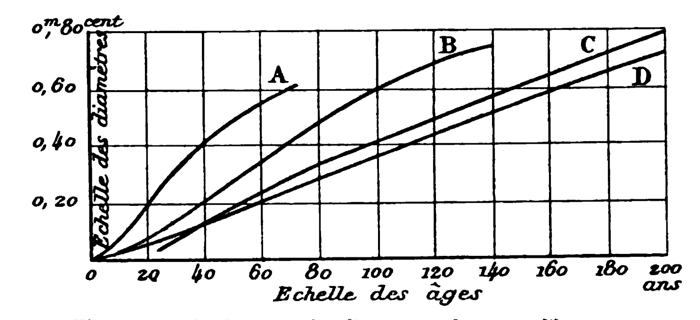


Fig. 61. — Croissance du diamètre à hauteur d'homme.
A. Châtaigner commun, ayant crû en futaie claire, à l'altitude de 500m dans la forêt d'Allinges, Haute-Savoie (d'après M. Schæffer).
B. Sapins des environs de Morteau (Doubs) moyenne de 15 analyses de tiges par M. Brenot.
C. Chênes de taillis-sous-futaie dans la Côte-d'Or et les Vosges (d'après M. Galmiche).
D. Chênes de taillis-sous-futaie, croissant en terrain de calcaire oolithique de profondeur moyenne dans les environs de Toul (Meurthe-et-Moselle) d'après M. Muel.

L'épaisseur des couches, à partir de la moelle, va d'abord en augmentant rapidement, mais bientôt l'augmentation cesse et

(1) Diagrammes relatifs à la végétation de divers arbres forestiers. Nancy, 1888 (en manuscrit à la Bibliothèque de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts).

(2) *Recherches sur le mode d'accroissement des chênes de taillis-sous-futaie.* Paris, chez Rothschild, 1891. (Extrait de la *Revue des Eaux et Forêts.*) Voir aussi la fig. 51.

les accroissements deviennent de plus en plus étroits jusqu'à la circonférence (1). L'accroissement le plus large se forme de très bonne heure, si bien qu'il n'est visible que sur une section assez basse. Il arrive assez souvent que la section à hauteur d'homme (à 1 m. 30 du sol), est déjà trop haute pour qu'on puisse y observer un maximum dans l'épaisseur des couches qui vont alors en décroissant du centre à la circonférence. Si nous représentons graphiquement la loi de la variation du diamètre, nous obtenons donc des courbes analogues à celles que nous avons déjà vues par le développement de la hauteur, mais à rayons de courbure beaucoup plus grands, qui se rapprochent parfois de lignes droites sur une bonne partie de leur longueur (voir fig. 61).

L'accroissement du diamètre à hauteur d'homme est fortement influencé par les circonstances extérieures. Dans de bonnes stations il est plus rapide que dans d'autres; dans des massifs serrés il est beaucoup plus lent que dans des massifs éclaircis. Les figures 62 et 63 sont destinées à donner une idée de l'influence des conditions de la végétation sur le développement du diamètre à hauteur d'homme.

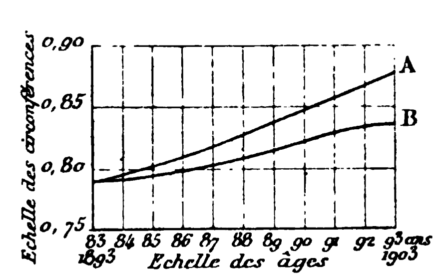


Fig. 62. — Développement comparé de la circonférence de sapins dégagés ou pris en massif serré.

A. Moyenne de 268 arbres dégagés pour la première fois en 1892, à l'âge de 82 ans.

B. Moyenne de 386 arbres, voisins des précédents, de mêmes âge et dimensions au début, qui n'ont bénéficié d'aucune opération d'éclaircie.

La figure 62 montre le développement comparé de sapins de même circonférence moyenne au début que nous avons ceinturés et numérotés en 1893 dans deux places d'essai contiguës et entièrement identiques de la forêt de Celles (Vosges). Dans la première place d'essai, ces arbres, au nombre de 268, qui avaient

(1) Ce fait est signalé dans un travail de M. Poirson, inspecteur des Forêts à Compiègne, publié, en 1842, dans les *Annales forestières*.

crû jusque-là en massif très serré, ont été dégagés très prudemment tandis que dans la seconde les 386 arbres n'ont pas été dégagés. Les mesurages de circonférences ont été opérés annuellement, à un centimètre près, de 1893 à 1903. Les données de la fig. 63 sont empruntées à une publication du chef du service des aménagements du Jura (1).

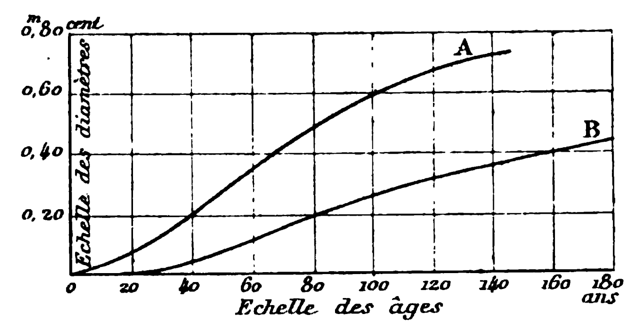


Fig. 63. — Développement comparé du diamètre à hauteur d'homme chez des sapins du Jura moyen, en sol fertile.
A. Arbres ayant crû à l'état libre,
B. Arbres ayant crû à l'état très serré (d'après M. Brenot).

Accroissement circulaire à hauteur d'homme. — L'accroissement circulaire (de la surface de section) dépend naturellement de celui du diamètre, mais sans être identique, puisqu'il est bien évident que l'accroissement circulaire peut continuer à augmenter même lorsque l'épaisseur des couches annuelles va déjà en diminuant.

En fait, on constate que la section de la tige à hauteur d'homme s'accroît d'abord de plus en plus rapidement jusqu'à un moment où son accroissement reste constant ou bien diminue lentement. La marche de cet accroissement est du reste fortement modifiée par l'état de densité plus ou moins grande des massifs au milieu desquels les arbres sont placés.

Un massif très serré amène une diminution plus précoce et plus rapide de l'accroissement (vers 60 à 90 ans) tandis que des

(1) *La Méthode expérimentale appliquée aux forêts*, par L. Brenot. Besançon, chez Dovivers et Cie, 1892.

arbres tout à fait isolés conservent un accroissement circulaire constant ou même de plus en plus grand jusqu'à leur dépérissement (1).

Les conditions de station se font sentir d'une façon analogue. Sur les meilleurs sols, l'accroissement circulaire culmine d'assez bonne heure (souvent vers 40 à 50 ans) et diminue ensuite assez rapidement, tandis que dans de très mauvaises conditions il est très faible, mais se maintient constant pendant très longtemps.

Accroissement du diamètre à différents niveaux. Forme de la tige des arbres. — Chez les arbres crûs en massif, les couches annuelles ont ordinairement leur épaisseur maxima dans le haut du fût, immédiatement au-dessous des premières grosses branches. De là, l'épaisseur des accroissements va en diminuant vers le pied de l'arbre jusque tout près du sol chez les arbres jeunes, tandis que sur les arbres âgés l'accroissement augmente de nouveau d'épaisseur dans le voisinage du sol pour donner une forme évasée au pied de la tige. Le point à partir duquel l'épaisseur des couches annuelles augmente dans le voisinage du sol se trouve placé plus ou moins haut suivant l'âge de l'arbre et son état plus ou moins isolé; chez des arbres de 100 à 150 ans il est souvent à plus de 1 m. 30 du sol. Des arbres très vieux et bien dégagés ont au pied un évasement qui se fait sentir jusqu'à 4 mètres du sol et même plus haut.

L'augmentation d'épaisseur des couches annuelles dans le haut du fût est plus marquée dans de bonnes conditions de station et lorsque les massifs sont bien serrés, c'est-à-dire lorsque les fûts sont élevés. Elle l'est moins dans de mauvaises conditions de végétation et chez des arbres bien dégagés. Chez les arbres tout à fait isolés et à fût très court, les couches annuelles sont d'une épaisseur constante tout le long du fût ou bien elles

(1) D'après une étude publiée par M. Galmiche, dans le volume de 1891 de la *Revue des Eaux et Forêts*, l'accroissement de la surface terrière de chênes de taillis-sous-futaie irait en augmentant jusqu'à 200 ans au moins.

vont même en diminuant de bas en haut. (Voir fig. 64 et 65.)

Un arbre très jeune, qui n'a pas encore commencé à former

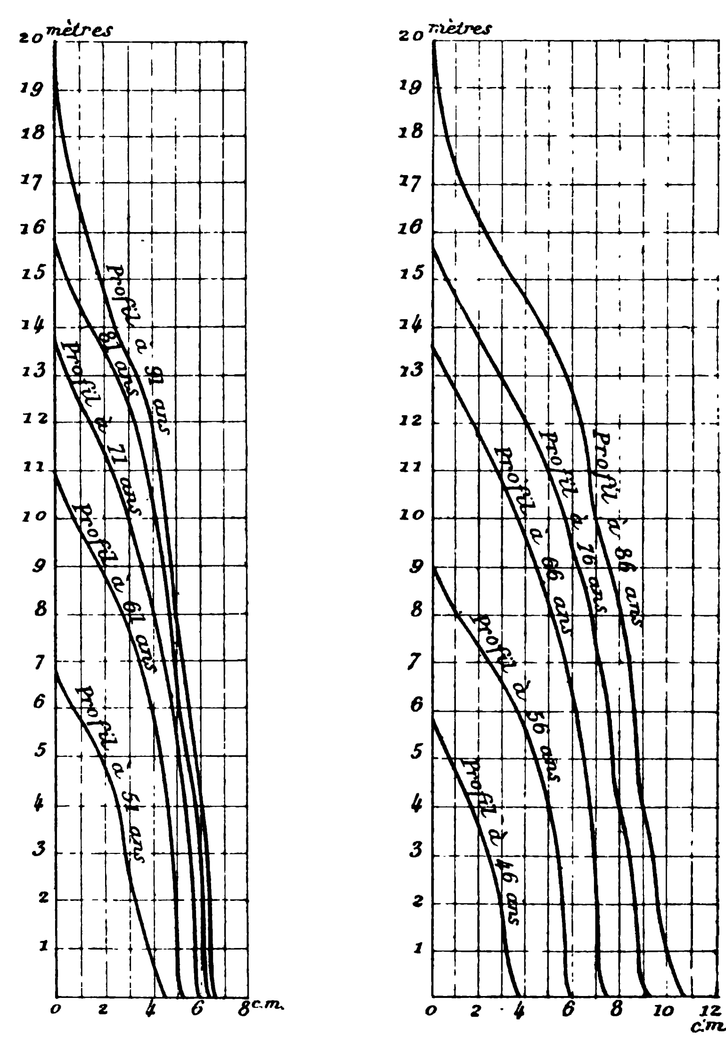


Fig. 64. — Sapin ayant crû en massif serré (d'après M. Schuberg).

Fig. 65. — Sapin ayant crû à l'état libre (d'après M. Schuberg).

un fût, a des accroissements diminuant d'épaisseur du sol jusqu'au bourgeon terminal, de sorte que sa section longitudinale est limitée par une courbe convexe vers l'axe. La forme convexe

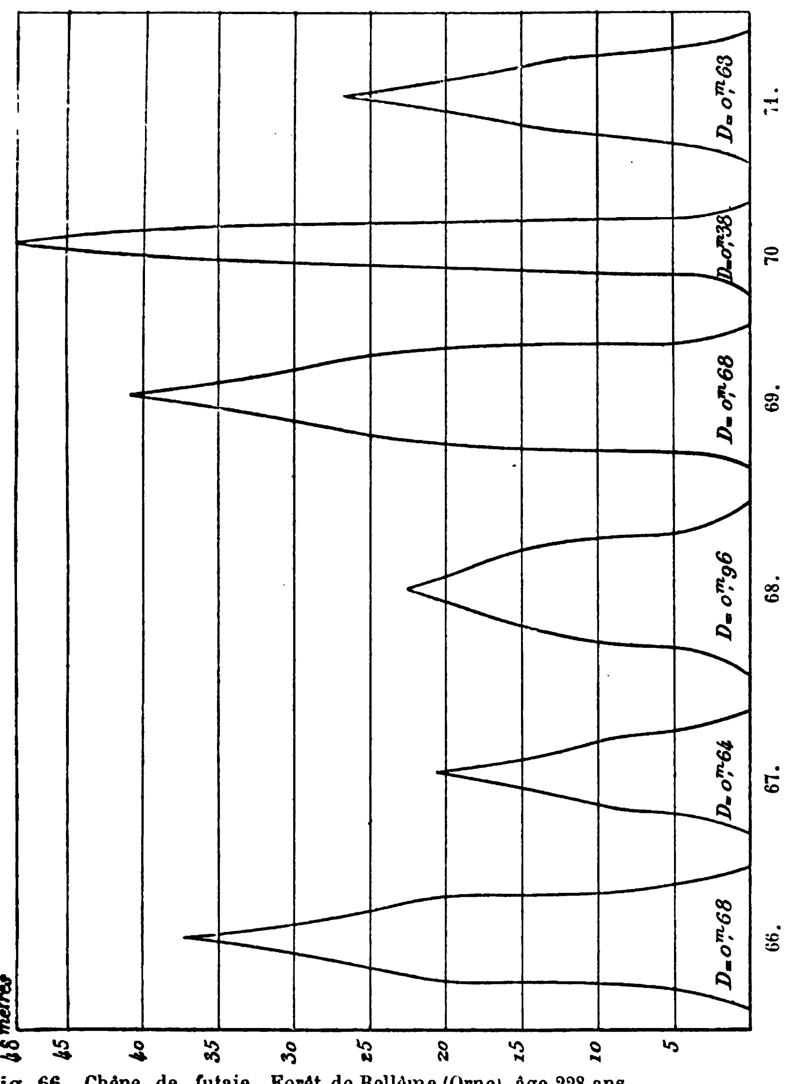


Fig. 66. Chêne de futaie pleine. Forêt de Bellême (Orne), âge 228 ans.

Fig. 67. Chênes de taillis-sous-futaie. Forêt de Champenoux (Meurthe-et-Moselle), âge, 142 ans.

Fig. 68. Chênes de taillis-sous-futaie. Forêt de Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle), âge, 200 ans.

Fig. 69. Hêtres de futaie pleine. Forêt de Villers-Cotterets (Aisne), âge, 171 ans, d'après M. Bartet.

Fig. 70. Hêtres de futaie pleine. Forêt de la Grande-Chartreuse (Isère), d'après M. Guinier.

Fig. 71. Hêtre de taillis-sous-futaie. Forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle), âge, 141 ans, d'après M. Bartet.

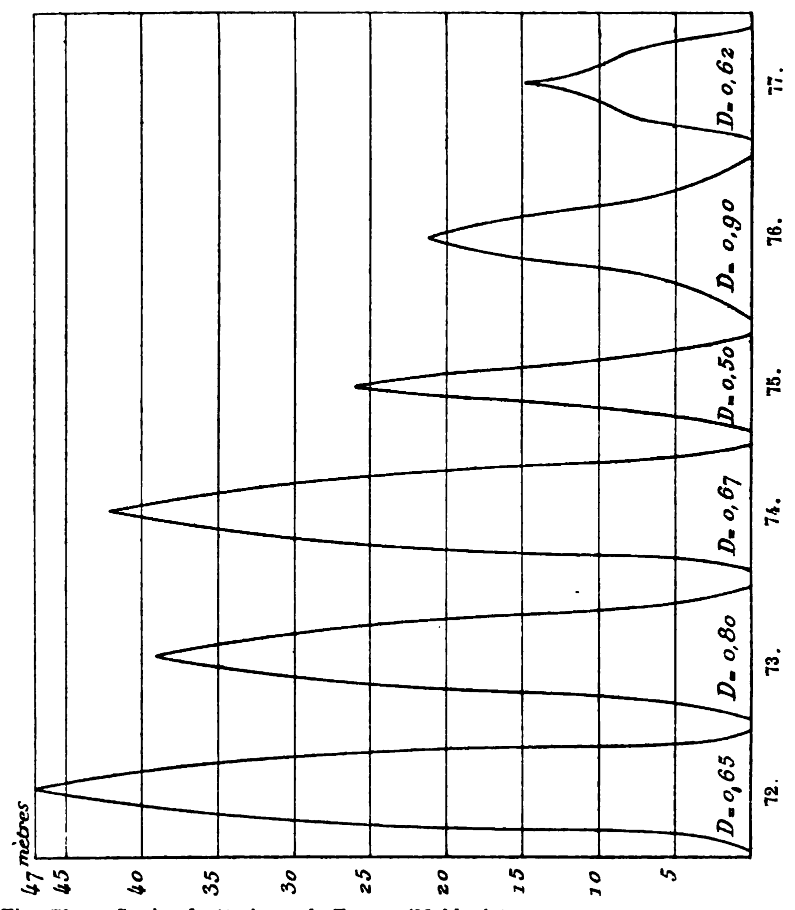


Fig. 72. — Sapin, forêt vierge de Tarcau (Moldavie).
Fig. 73. — Sapin, massif jardiné. Forêt de la Grande-Chartreuse (Isère, d'après M. Guinier).
Fig. 74. — Epicéa, arbre âgé de 166 ans, forêt jardinée (La Fuvelle, Doubs, d'après M. Bartet).
Fig. 75. — Epicéa, arbre de clairière (forêt de Saint-Roch, Haute-Savoie, d'après M. Reynard).
Fig. 76. — Epicéa, arbre isolé (pâturages de Vavarey, massif de la Chartreuse, Isère, d'après M. Guinier).
Fig. 77. — Pin d'Alep (forêt d'Ouled-Auteur, Algérie, d'après M. Reynard).

persiste toujours dans le voisinage du sol, mais si on fait abstraction de cet évasement du pied, on voit l'arbre, à mesure qu'il s'élève, que son fût commence à s'élaguer, prendre une forme se rapprochant d'abord du cône droit, puis finissant par présenter celle d'un cône renflé dans le haut ou, si l'on veut, celle

d'un paraboloïde du second degré. Le contour de la section est alors convexe vers l'axe dans le voisinage du pied, sensiblement rectiligne pendant une certaine longueur, puis concave dans le haut du fût. La partie supérieure de la tige, dans la cime, a une forme variable suivant la ramification.

Les figures n[os] 66 à 77 sont destinées à montrer le profil d'un certain nombre d'arbres mesurés dans les principales régions forestières de France. Pour rendre la forme plus sensible, on a tracé les abscisses (diamètres) à une échelle 10 fois plus grande que les ordonnées (hauteurs). L'échelle des diamètres est uniformément de 0 m. 020 pour 1 mètre, celle des hauteurs de 0 m. 002 pour 1 mètre.

La figure 66 représente un chêne ayant crû dans un massif de futaie normalement éclairci. Cet arbre avait une hauteur de fût égale aux deux tiers environ de sa hauteur totale, le tronc cubait les cinq sixièmes et le houppier un sixième du volume total. Les chênes, et, dans une moindre mesure, les hêtres de taillis-sous-futaie (fig. 67, 68 et 71) sont remarquables par leurs fûts courts, les forts évasements du pied, et la puissance de leur cime d'où résulte une décroissance rapide du diamètre dans la partie supérieure de la tige. L'arbre représenté par la fig. 67 avait une hauteur de fût à peine supérieure aux deux cinquièmes de sa hauteur totale et le volume du houppier était le tiers du volume total. Les hêtres de futaie éclaircie ont souvent une forme remarquablement régulière ; ceux qui poussent au milieu d'une sapinière vigoureuse et très serrée ont une forme très caractérisée (fig. 70). On remarquera aussi les belles formes, si régulières et harmonieuses, parfois très voisines de paraboles du second degré, qu'offrent les sapins et épicéas, surtout lorsqu'ils ont crû entourés d'autres arbres de même essence et de même taille (fig. 72). Ceux qui ont crû à l'état dégagé sont plus coniques et portent une cime plus puissante, d'où il résulte une forme un peu moins aiguë du sommet de la tige. L'épicéa est certainement le plus plastique, au point de vue de la forme, de tous nos arbres forestiers ; les figures 74 à 76 le montrent net-

tement. Enfin la figure 77 donne le profil de la tige d'un de ces pins à fût court, à cime puissante, largement étalée, si caractéristiques des paysages méditerranéens.

Changement de forme des arbres que l'on vient à dégager. —

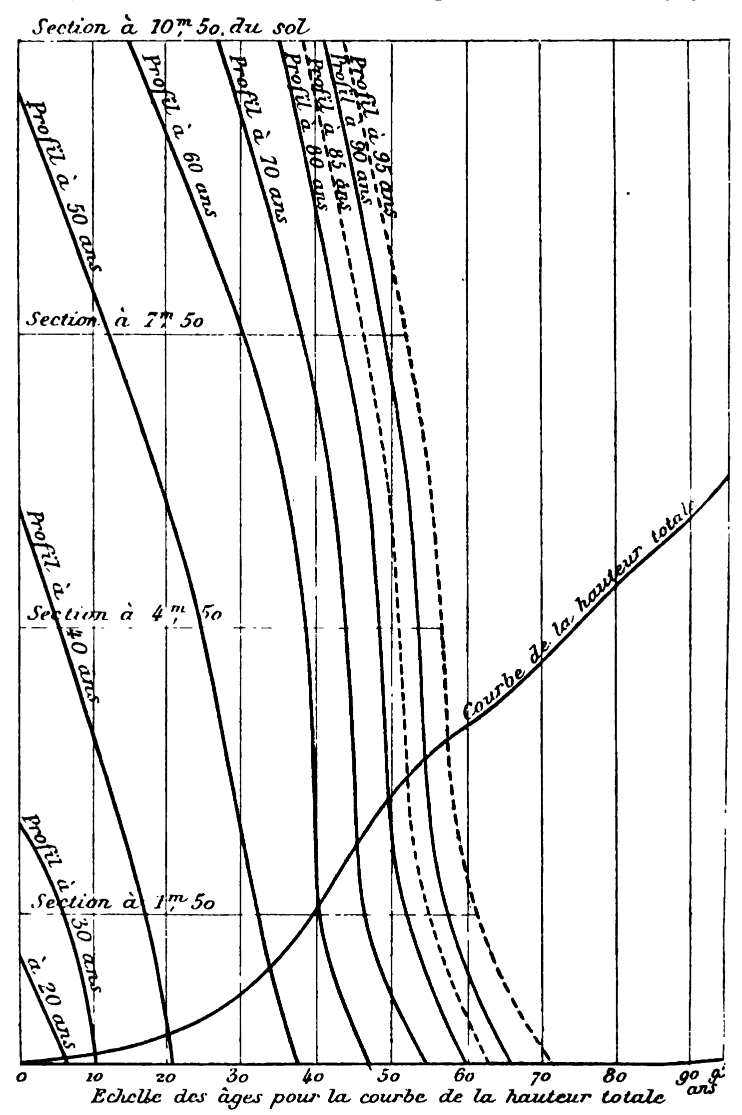


Fig. 78. — Profils à divers âges d'un sapin dégagé à l'âge de 90 ans.

Lorsqu'il survient un changement dans les conditions d'existence d'un arbre pendant le cours de sa vie, on le voit immédiatement prendre la forme caractéristique de sa nouvelle situation. C'est ainsi que les arbres crûs dans un massif plein de futaie qu'on vient à dégager ou à isoler tout à coup tendent à prendre, dès les premiers accroissements qui suivent le dégagement, la forme conique spéciale aux arbres isolés.

La fig. 78 représente une section longitudinale du bas de la tige d'un sapin abattu dans la forêt de Celles (Vosges) à l'altitude de 380 mètres. Cet arbre, qui provenait de régénération naturelle, avait crû dans des conditions normales, en massif bien équienne, jusque vers 50 ans, époque à laquelle le massif étant devenu très serré, par suite du défaut d'éclaircies, son accroissement s'est ralenti, surtout dans le bas du fût. Cette situation s'est accentuée jusqu'à 90 ans, âge auquel l'arbre fut brusquement dégagé par une éclaircie assez forte. Cinq ans après cette opération l'arbre a été abattu. L'analyse détaillée de la tige, effectuée en 1900 par les élèves de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts, a montré que, bien que l'effet de l'éclaircie ne soit devenu sensible que la troisième année après l'opération (1), les accroissements des cinq ans qui ont suivi l'éclaircie avaient doublé d'épaisseur dans le bas de la tige, par rapport à ce qu'ils avaient été pendant la quinquennie précédant l'éclaircie. Dans le haut du fût au contraire l'épaisseur des accroissements avait légèrement diminué après l'éclaircie. Citons encore un sapin, de même origine, analysé en 1904 par M. Cuif, attaché à la station de recherches forestières de Nancy. Sur cet arbre on a trouvé :

Accroissement moyen annuel du diamètre.

(MOYENNES DE PÉRIODES DE CINQ ANNÉES)

	à hauteur d'homme.	à 16 m. du sol.
Avant l'éclaircie...	0 centim. 175	0 centim. 42
Après l'éclaircie...	0 — 300	0 — 33

(1) Cet arbre avait trop longtemps souffert du défaut d'espace et croissait en sol médiocre (sables du grès vosgien). Des sujets encore vigoureux et en sol fertile réagissent bien davantage sous l'influence de l'éclaircie. L'analyse de tige a aussi suivi de trop près l'éclaircie dont l'effet complet ne s'était pas encore produit.

On pourrait multiplier ces exemples (1).

Accroissements des branches, des racines. Excentricité de la moelle. — Les branches de la plupart des arbres ont, dans le voisinage de la tige, une section elliptique, le diamètre vertical étant le plus grand. De plus, les accroissements annuels sont plus épais sur la face inférieure de la branche que du côté tourné vers le ciel; cela est surtout sensible sur les branches ayant une direction qui se rapproche de l'horizontale, et dans le voisinage de la tige. Les racines présentent aussi très nettement, dans le voisinage de la souche, une inégalité d'épaisseur dans les cernes annuels : ils sont beaucoup plus larges dans la partie supérieure que dans la partie basse sur laquelle porte le poids de l'arbre. Aussi les racines, s'accroissant rapidement par leur face supérieure, arrivent-elles à faire saillie hors du sol chez les essences à enracinement peu profond.

Nous avons signalé plus haut les causes d'inégalité de développement du diamètre dans les différentes directions qui résultent de l'effet de la pente du sol ou du vent (2).

§ 7. — *De la forme des arbres forestiers.*

L'importance et la forme de la cime, dont résulte surtout l'aspect général de l'arbre, sont fortement influencées par les conditions dans lesquelles celui-ci se développe. Lorsque la végétation est rapide, comme il arrive à l'époque qui précède immédiatement l'apparition de la fertilité, lorsque le sol est profond, les cimes sont aiguës et les branches relevées. Plus tard les cimes s'aplatissent, surtout chez les pins, les sapins, les chênes; les branches basses de leur côté se rapprochent de la direction horizontale. L'espace laissé à l'arbre pour se développer exerce une action très remarquable sur son profil général.

Celui qui a poussé *à l'état isolé* a un fût court et gros, une large et ample cime, tels ces majestueux chênes isolés de Nor-

(1) Voir *Influence des éclaircies*, par E. Cuif, inspecteur-adjoint des forêts, attaché à la station de recherches de l'École nationale des Eaux et Forêts. Paris, chez Laveur, 13, rue des Saints-Pères, 1905.
(2) Voir page 82. Voir aussi un article de M. Mer dans la *Revue des Eaux et Forêts* (volumes de 1888 et 1889).

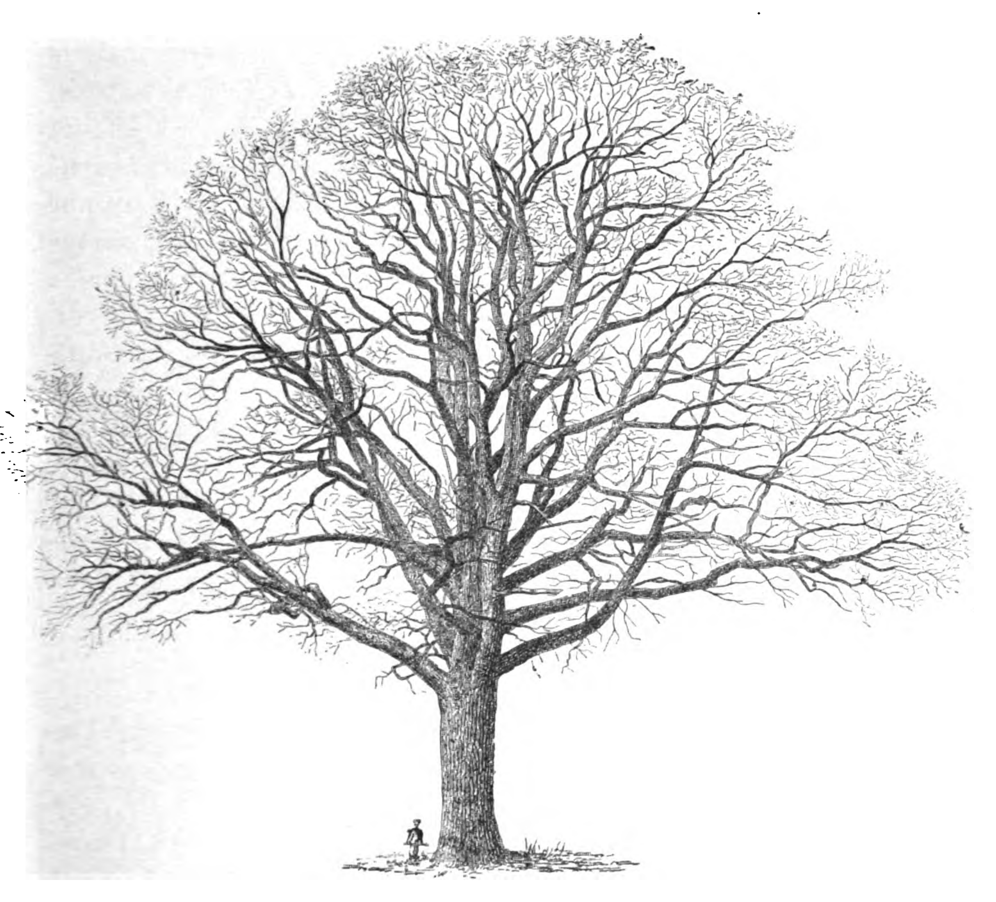


Fig. 79. — Forme naturelle du chêne pédonculé.
Le chêne de Raveton, à Montabard (Orne), d'après une photographie de M. G. de Kerville.
Circonférence à 1^m.00 du sol, 5^m,90. — Hauteur totale, 24^m,90. — Hauteur du fût, 6^m,0 environ.

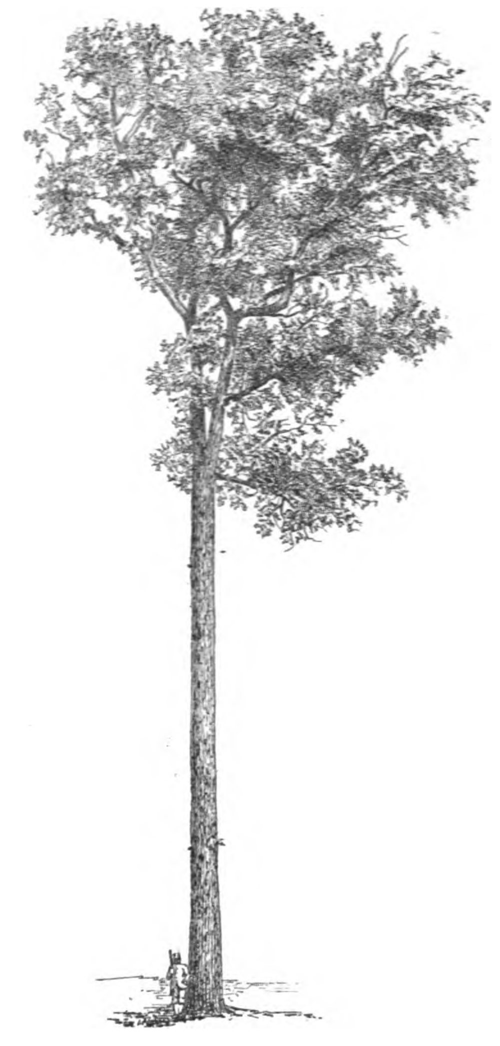


Fig. 80. — Forme forestière du chêne pédonculé traité en futaie pleine.
Chêne de la forêt de Haguenau (Alsace).
Terrain du lehm rhénan.

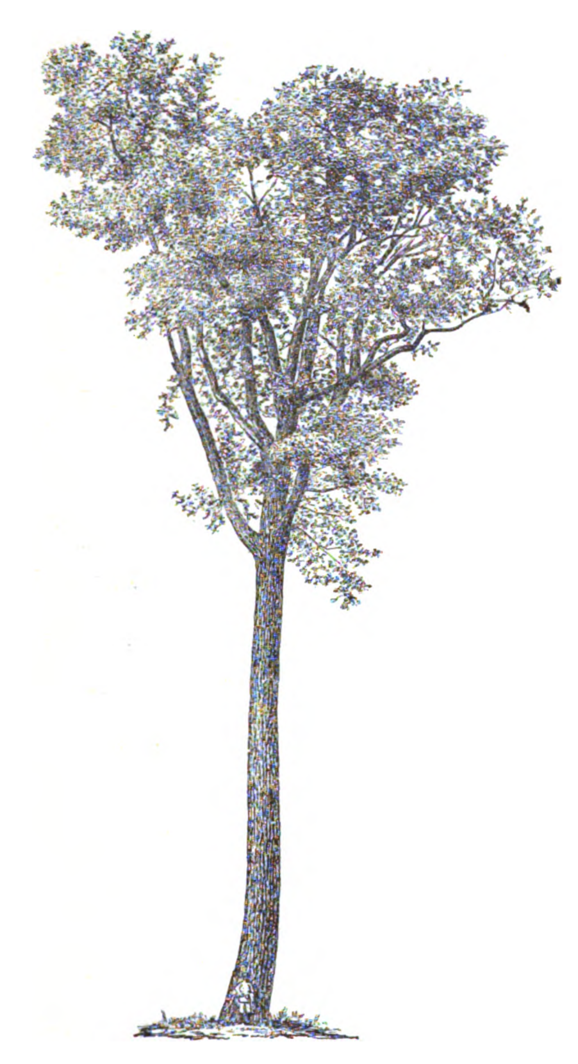


Fig. 81. — Forme forestière du chêne rouvre, traité en futaie pleine éclaircie.
Chêne de la forêt de Blois (Loir-et-Cher).
Terrain des argiles à silex.

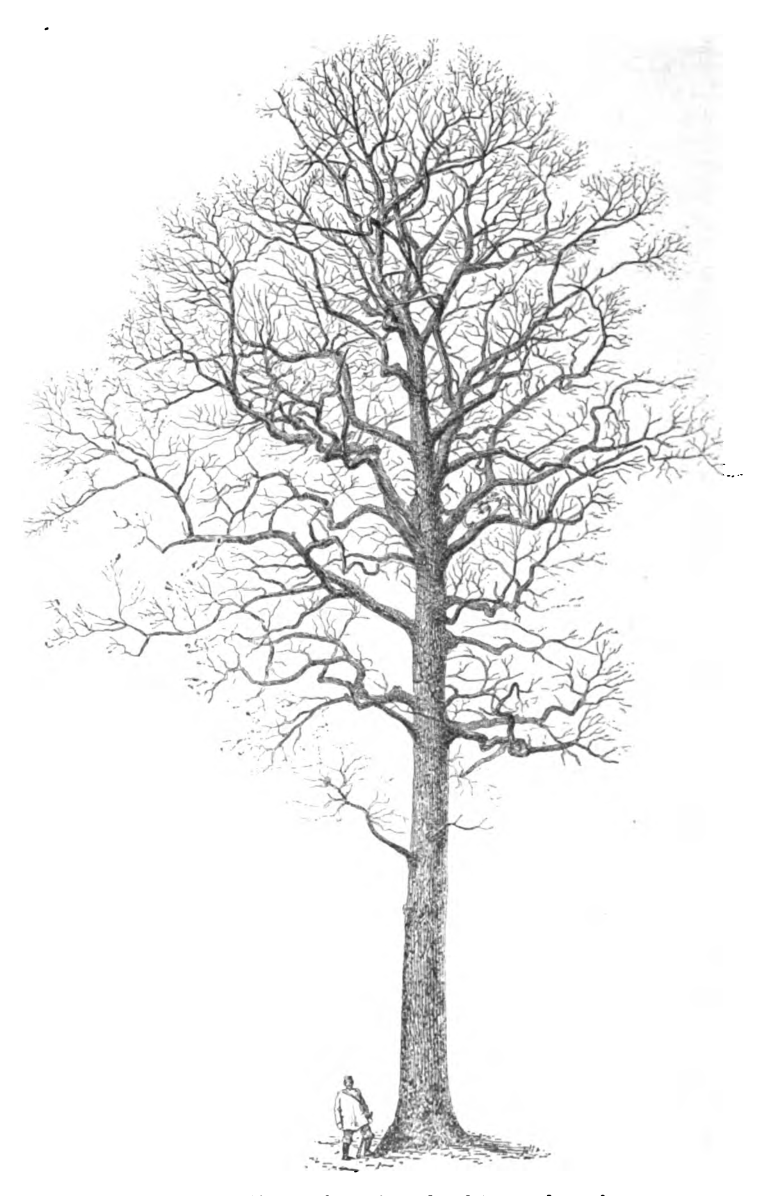


Fig. 82. — Forme forestière du chêne pédonculé.
Arbre de réserve de taillis-sous-futaie.
Terrain des marnes supraliasiques aux environs de Nancy.
Circonférence à hauteur d'homme, 2^{m},83. Hauteur totale, 23^{m},30.
Hauteur du fût 9^{m},50 environ.

mandie dont nous reproduisons ici un magnifique spécimen (fig. 79) d'après une photographie de M. de Kerville. Les sapins ou épicéas isolés restent branchus jusqu'au sol et se présentent comme un cône de feuillage dont l'axe, la tige, a un profil concave vers le dehors. Les pins isolés se forment un fût relativement élevé, avec une cime plus ou moins en forme de parasol, surtout chez les espèces méridionales (pin d'Alep, pin pinier). Les tilleuls ont une cime ellipsoïdale ou quasiment sphérique, celle des hêtres est ovoïde, etc.

Lorsque les arbres sont enserrés dans des massifs leurs formes se modifient considérablement. Les chênes, dans les futaies pleines trop denses, ont des fûts qui atteignent les cinq sixièmes de la hauteur totale, une cime réduite formée de branches redressées et se terminant dans le même plan, en forme d'ombelle, comme le bel arbre reproduit par la fig. 80. Dans des massifs convenablement éclaircis les fûts sont moins grêles, les cimes plus majestueuses (fig. 81). Les arbres de réserve des taillis-sous-futaie ont une forme intermédiaire entre celle des arbres isolés et celle des arbres de massifs pleins (fig. 82). De même les hêtres, sapins, épicéas arrivent à avoir des hauteurs de fût excessives (il semble que celle-ci ne devrait pas, en général, dépasser les trois cinquièmes ou, au plus, deux tiers des hauteurs totales chez les arbres adultes croissant en futaie pleine) et des cimes réduites lorsqu'on néglige de les desserrer en temps utile (fig. 83 à 93). On appelle forme naturelle celle que prend l'arbre isolé, libre de se développer en tous sens, et forme forestière celle qu'il revêt sous l'influence du mode de traitement que l'homme lui fait subir.

§ 8. — *Les lois de l'accroissement en volume des arbres.*

Variations de l'accroissement suivant l'âge.— La quantité de bois qu'un arbre, né d'une semence, ajoute chaque année à son volume est naturellement très faible au début de sa vie. Elle va en augmentant d'année en année, assez rapidement chez certaines essences, lentement chez d'autres, mais chez toutes de

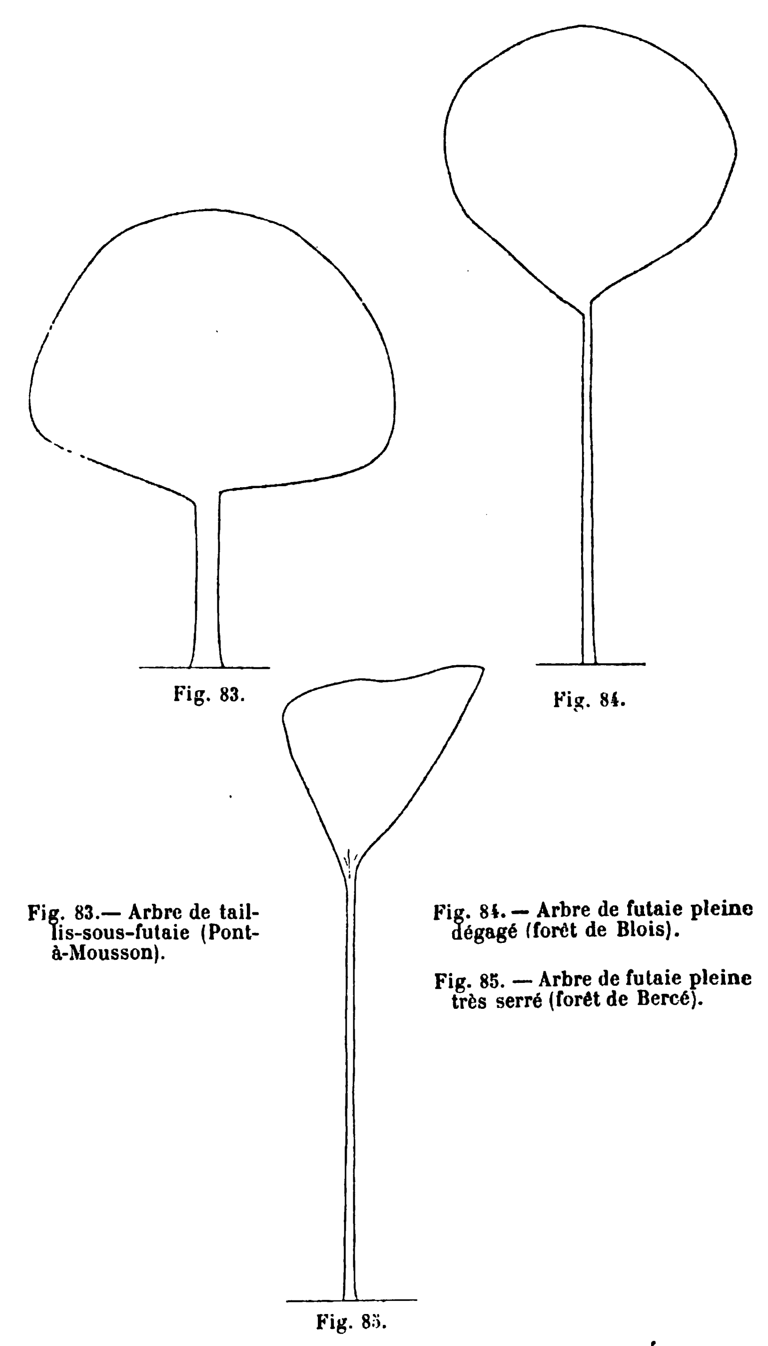


Fig. 83.— Arbre de taillis-sous-futaie (Pont-à-Mousson).

Fig. 84. — Arbre de futaie pleine dégagé (forêt de Blois).

Fig. 85. — Arbre de futaie pleine très serré (forêt de Bercé).

FORMES FORESTIÈRES DE CHÊNES ROUVRES AGÉS

(Profils calqués sur des photographies). Echelle $\frac{1}{400}$.

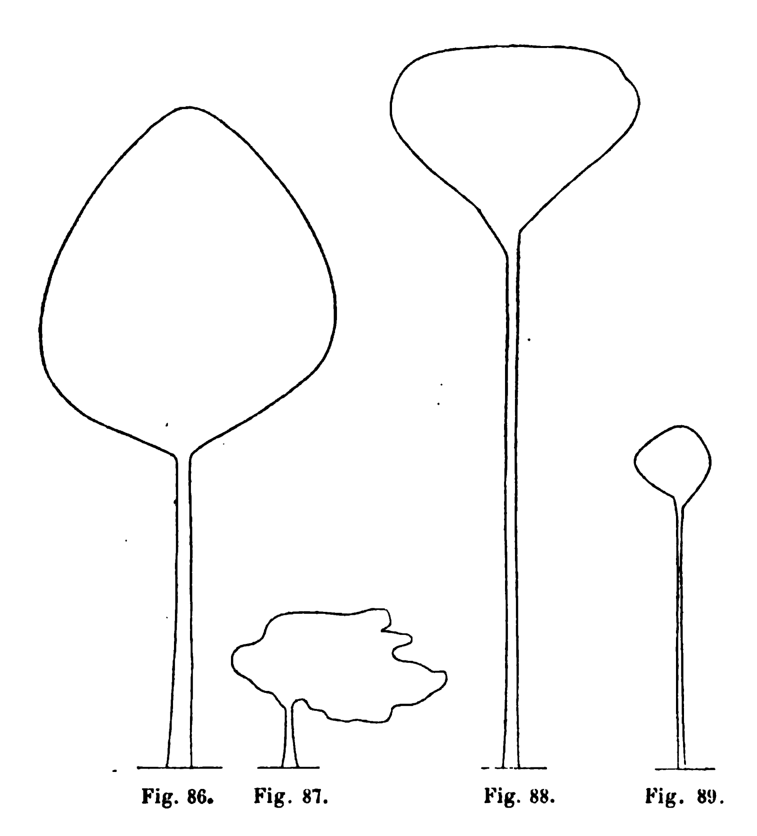


Fig. 86. — Hêtre âgé, futaie pleine, éclaircie (forêt de Villers-Cotterets).

Fig. 87. — Hêtre âgé, déformé par le vent (Chaume du Tanneck, Hautes-Vosges).

Fig. 88. — Hêtre très âgé, futaie pleine, massif très dense (forêt de Bercé).

Fig. 89. — Hêtre d'âge moyen (80 ans environ), massif très dense (forêt de Sihlwald-Zürich).

PROFILS DE HÊTRES

(Calqués sur des photographies.) Echelle $\frac{1}{400}$.

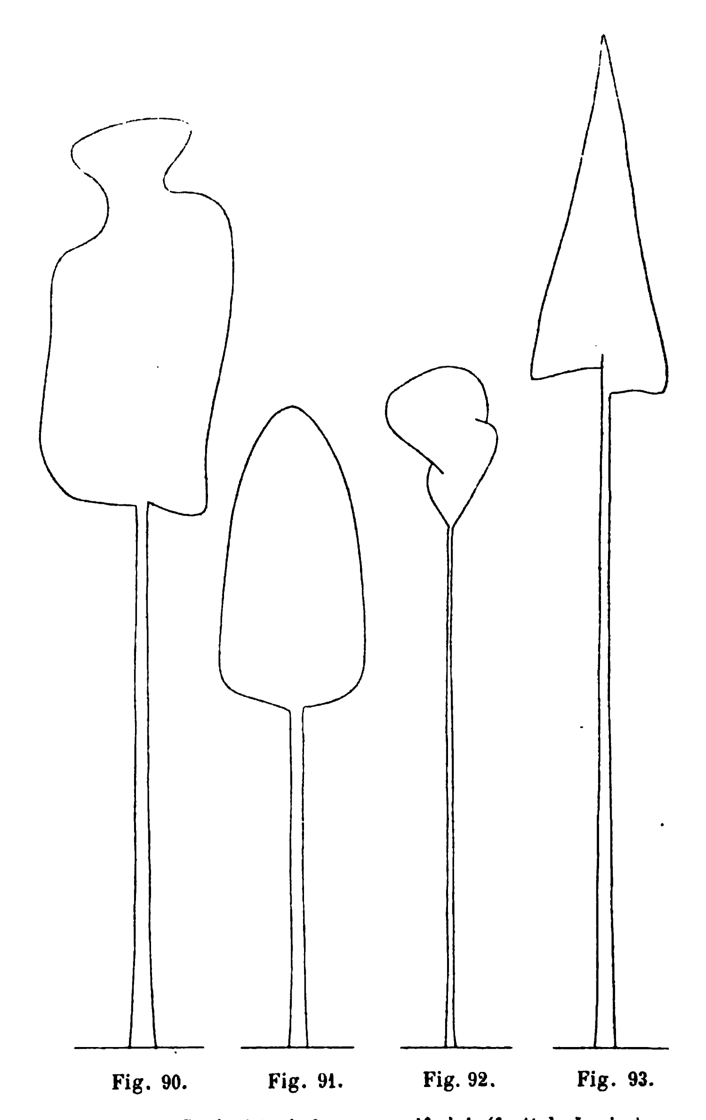


Fig. 90. — Sapin très âgé, en massif clair (forêt de Levier).

Fig. 91. — Sapin âgé d'environ 100 ans. Massif normalement éclairci (forêt de Celles).

Fig. 92. — Sapin âgé d'environ 120 ans. Massif très serré (forêt de Celles).

Fig. 93. — Epicéa très âgé (forêt des environs de Pontarlier, Doubs).

(Profils calqués sur des photographies). Echelle $\frac{1}{400}$.

plus en plus, de façon que l'accroissement d'une année est constamment supérieur à celui de l'année précédente.

Cette marche ascendante du volume des accroissements annuels persiste parfois jusqu'à la maturité de l'arbre, c'est-à-dire jusqu'à l'époque où il entre dans la période de décrépitude (1). Tel est notamment le cas d'individus très vigoureux dont rien ne vient contrarier le libre développement dans toutes les directions, aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (voir fig. 94).

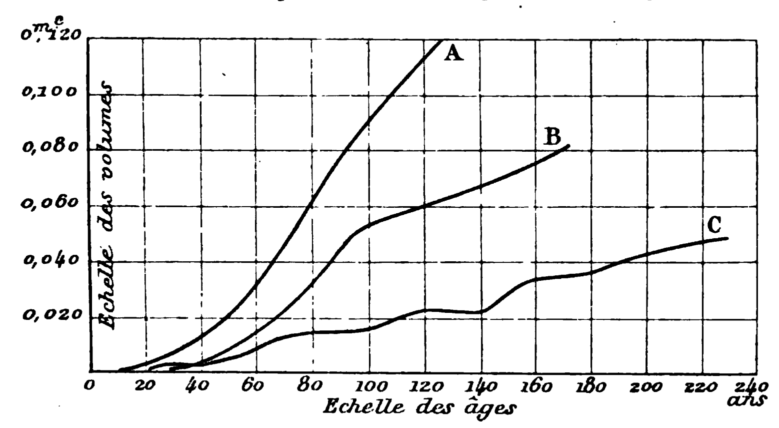


Fig. 94. — Accroissements annuels du volume d'arbres type (Station de recherches de Nancy).
A. Sapin de la forêt de Fuvelle (Doubs).
B. Hêtre de la forêt de Villers-Cotterets (Aisne).
C. Chêne de la forêt de Bellême (Orne).

Le plus souvent, cependant, à partir d'un âge peu avancé, à partir par exemple du moment où l'accroissement en hauteur se ralentit d'une façon notable, les accroissements annuels du volume deviennent presque constants, de sorte que celui-ci varie alors à peu près proportionnellement au temps.

On a même observé que des arbres qui ont eu dans leur jeunesse une croissance rapide la ralentissent à un âge plus ou moins avancé : ce que nous savons des accroissements de la section transversale et de la hauteur nous permettait de pré-

(1) Ce fait était connu des forestiers français au dix-huitième siècle, il est mentionné d'une façon très nette et détaillée dans le premier mémoire (1790) de Varenne-Fenille, page 16, et dans le deuxième mémoire (1791), page 57 (édition Marchant).

voir un maximum pour l'accroissement annuel du volume lorsque les conditions de végétation sont très favorables. Mais, même dans ce dernier cas, il est assez rare qu'il se produise un maximum dans l'accroissement *moyen* avant l'époque à laquelle on a ordinairement intérêt à réaliser les arbres(1). (Voir fig.95.)

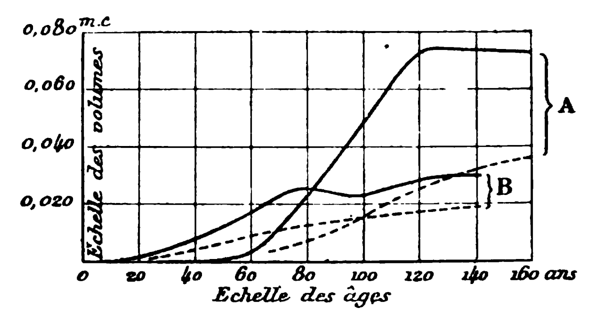


Fig. 95. — Accroissements annuels et moyens du volume d'arbres type (station de recherches de Nancy).

A. Sapin de la forêt de Cornimont (Hautes-Vosges).

B. Chêne de taillis-sous-futaie (Meurthe-et-Moselle).

———— Accroissement annuel.

— — — — Accroissement moyen.

Le maximum de l'accroissement annuel apparaît plus ou moins tard suivant les essences. Des arbres observés autrefois dans la forêt de Compiègne (2) ont montré des maxima entre 125 et 150 ans pour le chêne et le hêtre, entre 100 et 125 pour le charme, 75 et 100 pour le frêne et l'orme.

Des essences à croissance très rapide et dans de très bonnes conditions peuvent même présenter ce maximum à un âge encore moins avancé. C'est ainsi qu'un tilleul, analysé à la station de recherches de Nancy, a montré un maximum vers 55 ans, un peuplier tremble vers 45 ans (3), etc.

Influence de l'espace laissé à l'arbre sur son accroissement.

(1) Lors de l'aménagement de la forêt de Hagueneau, en 1842, les aménagistes examinèrent plus de 100 chênes et pins mûrs ou dépérissants, et constatèrent que pas un seul n'avait atteint le maximum de son accroissement moyen.

(2) Par M. Poirson (*Annales forestières de 1842*).

(3) Il est du reste évident que le moment du maximun se présente plus tôt chez des essences peu longévives.

— Mais c'est surtout le plus ou moins d'espace dont dispose un arbre qui influe sur la marche de l'accroissement. L'arbre enserré dans un massif est contrarié à la fois dans le développement de ses racines et dans celui de sa cime; son accroissement s'en ressent très nettement. L'état de massif serré entrave d'une façon générale le développement de l'arbre et amène un ralentissement prématuré dans ce développement.

Le tableau ci-dessous, que nous empruntons au livre de M. Schuberg sur le sapin (1), le montre d'une façon bien nette.

		ACCROISSEMENT DE LA TIGE DE SAPINS pendant des périodes décennales							
		De 31 à 40 ans	De 41 à 50 ans	De 51 à 60 ans	De 61 à 70 ans	De 71 à 80 ans	De 81 à 90 ans	De 91 à 100 ans	De 101 à 110 ans
		m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.
Conditions de végétation très bonnes	Massifs peu serrés........	0.145	0.200	0.260	0.327	0.298	0.260	»	»
	Massifs très serrés.........	0.080	0 120	0.165	0.189	0.220	0.235	»	»
Conditions de végétation moyennes	Massifs peu serrés.........	0.073	0.121	0.151	0.174	0.176	0.223	0.190	0.161
	Massifs très serrés.........	»	0.055	0.079	0.096	0.111	0.127	0.137	0.152

Ces résultats proviennent d'un ensemble de plus de 300 analyses de tiges.

Si l'on vient à dégager un arbre dont la végétation a été contrariée, on le voit bientôt reprendre un accroissement beaucoup plus considérable, si bien que des arbres alternativement dégagés ou resserrés dans un massif présentent des recrudescences et des diminutions dans l'activité de la végétation (fig.96 et 97).

Ce fait est des plus importants : c'est sur lui que repose toute la pratique des éclaircies telle qu'elle est suivie en France depuis plus de trois siècles, et telle qu'elle commence à s'introduire en Allemagne depuis quelques années. On sait que cette pratique consiste à passer dans les peuplements à des intervalles qui varient, suivant les circonstances, de 8 à 15 ans envi-

(1) *Aus deutschen Forsten... die Weisstanne.* Tubingue, Laupp, éditeur, 1888.

ron pour dégager les tiges d'avenir en enlevant autour d'elles celles moins précieuses (moins bien conformées ou de moins

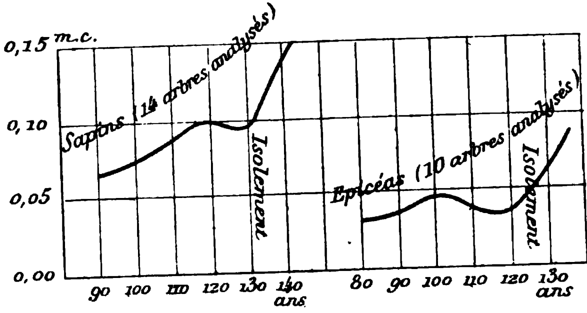


Fig. 96. — Influence de l'isolement sur la grandeur des accroissements annuels de sapins et épicéas (d'après M. Brenot).

bonne essence) qui les contrarient en les dominant ou en les enserrant. Ces opérations sont exécutées en France sous le nom d'« éclaircissement » depuis le XVI[e] siècle et peut-être avant (1).

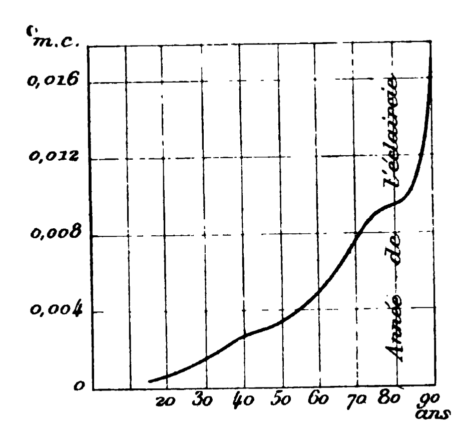


Fig. 97. — Influence de l'éclaircie sur la grandeur de l'accroissement annuel d'un sapin (d'après M. Cuif, de la station de recherches de Nancy).

Nous reviendrons sur l'importance économique des éclaircies lorsque nous parlerons des peuplements et nous ferons alors intervenir la contenance dans la mesure de la production. Remarquons seulement dès à présent que le dégagement répété permet d'obtenir, dans un temps plus court, des arbres ayant de plus forts volumes et, avec de plus

(1) Au début du XIX[e] siècle, on répandit en France un certain nombre d'idées allemandes en matière de forêts, empruntées surtout à G.L. Hartig et à Cotta. De ce nombre est notamment celle qui consiste à réduire les coupes d'amélioration à l'enlèvement des bois morts ou dominés. Cet usage, si contraire à la tradition française, tend heureusement de plus en plus à être abandonné depuis une trentaine d'années.

grands diamètres, une plus grande valeur à l'unité de volume.

Il ne faut cependant pas croire que cette faculté de reprendre vigueur après avoir été dominé persiste indéfiniment. On est généralement d'accord pour déclarer que les essences formant naturellement des massifs clairs, comme le chêne, le pin sylvestre, ne reprennent plus vigueur lorsqu'elles ont été longtemps dominées, tandis que d'autres, comme le sapin, le hêtre, pourraient sans inconvénient être dominées longtemps.

C'est surtout au sapin qu'on a attribué la propriété de conserver indéfiniment sa vitalité, en quelque sorte à l'état latent, sous le couvert le plus complet. On a constaté, en effet, que des sapins restés dominés 100 à 150 ans (et qui n'ont souvent à cet âge que 1 à 2 mètres de hauteur et 2 ou 3 centimètres de diamètre), s'ils viennent à être dégagés, s'accroissent et forment de grands arbres. Des travaux récents (1) ont prouvé que le sapin dominé pendant 100 à 120 ans se développait sans doute après le dégagement, mais que sa végétation restait toujours bien inférieure à celle d'un sapin dégagé dès l'âge de 40 ou 50 ans (voir fig.98. Il) y a donc un intérêt sérieux, lors des coupes de régénération dans les sapinières, à enlever ces bois trop longtemps dominés pour laisser se développer les semis plus jeunes qu'ils pourraient recouvrir.

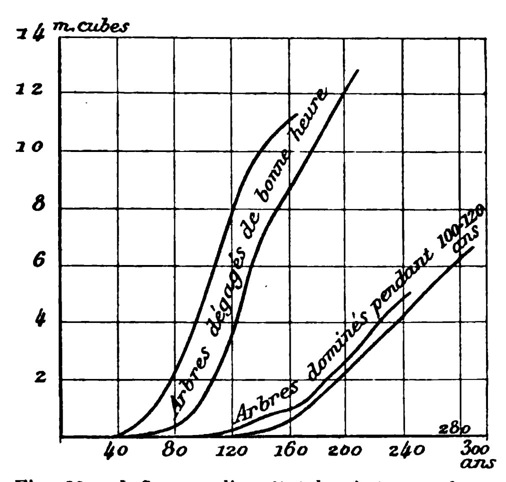


Fig. 98.— Influence d'un état dominé trop longtemps prolongé sur le développement en volume de sapins, d'après M. Schæffer (forêt de Colroy-Lubine, Vosges).

(1) De M. Schæffer, inspecteur-adjoint des Forêts (*Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté*).

Accroissement des réserves de taillis-sous-futaie. — Les arbres réservés dans les taillis-sous-futaie croissent dans des conditions spéciales. Leurs cimes sont toujours à l'état libre, quelle que soit la hauteur des taillis, mais leurs fûts sont tantôt exposés à la lumière et à la chaleur, tantôt englobés dans un massif. Il est aussi probable que, les souches de taillis perdant une partie de leurs racines après la coupe, les racines des arbres de réserve trouvent moins de concurrence dans le sol immédiatement après l'abatage du taillis. Il a été remarqué depuis longtemps que les couches annuelles formées après la coupe des taillis étaient beaucoup plus larges sur la souche qu'elles ne l'étaient avant (1). On a cru pouvoir en conclure que l'accroissement en volume était plus fort après la coupe qu'avant celle-ci. Des analyses de tiges entreprises par M. Bartet à la station de recherches de Nancy semblent confirmer cette conclusion tirée *à priori* de l'examen de la section de rez-terre ; il paraît probable maintenant que la coupe du taillis produit une augmentation dans l'accroissement des arbres de réserve quoique tous les expérimentateurs soient loin d'être d'accord à ce sujet.

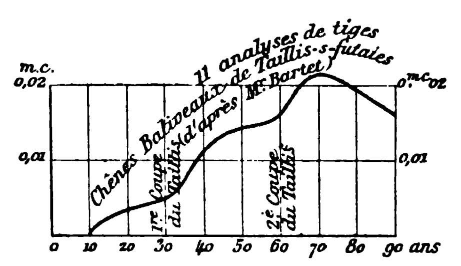


Fig. 99. — Accroissement du volume d'arbres réservés dans des taillis-sous-futaie.

La figure 99 est destinée à montrer les variations de l'accroissement de tiges de chênes baliveaux avant et après les coupes de taillis ; ses éléments sont empruntés à un travail de M. Bartet, inséré dans le volume de 1891 de la *Revue des Eaux et Forêts*.

(1) Voir un travail déjà plusieurs fois cité de M. Poirson dans les *Annales forestières* de 1842.

§ 9. — *Taux d'accroissement du volume.*

On appelle taux d'accroissement du volume le rapport entre l'accroissement annuel et le volume acquis au début de l'année. Nous le désignerons habituellement par la lettre τ.

De même que pour mesurer l'accroissement annuel nous avons pris la moyenne d'au moins 5 années successives, de même, pour mesurer le taux d'accroissement, nous nous servirons de l'accroissement de plusieurs années, afin d'écarter les irrégularités pouvant résulter d'années exceptionnelles. On détermine alors le taux moyen, supposé uniforme, auquel s'est accru l'arbre pendant la période considérée. Voici différentes méthodes pour mesurer le taux d'accroissement.

1re Méthode. — Nous voulons connaître le taux de l'accroissement pendant les dernières années de la vie d'une tige.

Soit v son volume au début, V son volume à la fin de cette période. L'accroissement est $V - v$ en p années et, en moyenne, par année, $\frac{V - v}{p}$. La grandeur moyenne du volume pendant la période p étant égale à

$\frac{V + v}{2}$, le taux est donc approximativement,

$$\tau = \frac{\frac{V - v}{p}}{\frac{V + v}{2}} = \frac{2}{p} \quad \frac{V - v}{V + v} \qquad (1)$$

2e Méthode. — La formule précédente n'est pas toujours d'un emploi pratique parce que l'on peut ignorer quelle était la grandeur v du volume au début de la période d'accroissement. On peut alors procéder de la manière suivante :

Soit v le volume d'une tige d'arbre, d le diamètre de sa sec-

tion médiane, l sa longueur et K un coefficient caractérisant la forme de la tige. On a

$$v = K\, d^2\, l$$

Soit a l'accroissement de v correspondant aux accroissements δ et λ de d et de l. On sait que si a, δ et λ sont suffisamment petits on peut écrire

$$a = K\,(2\, d\delta l + d^2\lambda)$$

$$= K d^2 l \left(\frac{2\delta}{d} + \frac{\lambda}{l}\right) = v \left(\frac{2\,\delta}{d} + \frac{\lambda}{l}\right)$$

d'où

$$\frac{a}{v} = \tau = \frac{2\delta}{d} + \frac{\lambda}{l}\,.$$

Cette formule nous montre que le taux d'accroissement du volume est la somme du taux d'accroissement de la surface terrière (le taux d'accroissement de la surface d'un cercle étant double de celui du diamètre) et du taux d'accroissement de la hauteur.

Ceci n'est évidemment rigoureusement vrai que si K reste constant pendant que l'accroissement se produit, c'est-à-dire si la période d'accroissement est courte et l'arbre suffisamment âgé.

Remarquons encore que si l'arbre est âgé λ est très petit et l très grand; on peut alors négliger le terme $\frac{\lambda}{l}$ et la formule devient

$$\tau = \frac{2\delta}{d}.$$

c'est-à-dire que, sous les réserves faites ci-dessus, on peut substituer au taux d'accroissement du volume le double du taux d'accroissement du diamètre médian (1). Ce dernier est assez facile à déterminer sans qu'il soit nécessaire d'abattre et de dé-

(1) Si n est l'âge de l'arbre, et si l'on suppose l'accroissement du diamètre constant et égal à e, on a $d = ne$ et $\delta = e$, d'où, par l'application de la formule ci-dessus, $\tau = \frac{2}{n} = \frac{1}{\frac{n}{2}}$ (Puton, *Traité d'Economie forestière*, I, p. 210).

couper l'arbre. Il suffit évidemment qu'on puisse mesurer, sur l'arbre debout, le diamètre au milieu d, ce qui peut se faire à l'aide d'une échelle; l'épaisseur $\frac{\delta}{2}$ des accroissements formés pendant la période considérée se détermine à l'aide d'une entaille faite au ciseau, à la hache, ou mieux encore à l'aide d'un instrument spécial connu sous le nom de sonde ou tarière de Pressler. On a quelquefois voulu simplifier les choses en substituant au taux d'accroissement du volume celui de la surface terrière; mais il est évident que dans ce cas les résultats peuvent être très inexacts, trop forts s'il s'agit d'un arbre isolé ou suffisamment dégagé, trop faibles dans le cas d'un arbre appartenant à un massif serré.

3° **Méthode de Schneider.** — Une troisième méthode est due à Schneider, professeur à Eberswalde, de 1830 à 1873. Elle est moins exacte que les précédentes, mais d'une application souvent commode.

Nous avons trouvé pour la valeur du taux d'accroissement :

$$\tau = \frac{2\delta}{d}.$$

Soit e l'épaisseur moyenne des n' derniers accroissements, n' étant tel que $n'e = 0$ m. 01. On aura, l'accroissement du diamètre étant double de l'épaisseur d'une couche annuelle,

$$e = \frac{1}{n'} = \frac{\delta}{2}$$

ou

$$\tau = \frac{4}{n'\,d} \text{ formule de Schneider.}$$

4° **Méthode algébrique.** — Enfin on peut encore calculer algébriquement le taux, supposé constant, auquel s'est accru le volume v pour passer en p années à la valeur V. Nous savons qu'on a

$$V = v\,(1 + \tau)^p$$

d'où

$$1 + \tau = \sqrt[p]{\frac{V}{v}} \quad \text{et} \quad \tau = \sqrt[p]{\frac{V}{v}} - 1$$

formule qu'on emploie quelquefois lorsque, comme dans les analyses de tiges on connaît les termes V et v, mais qui suppose que pendant le temps p l'accroissement du volume a été proportionnel à ce volume, ce qui n'est pas rigoureusement exact.

Variation du taux d'accroissement du volume. — Le taux d'accroissement du volume part de valeurs très fortes pendant les premières années, puis il diminue continuellement, quoique de plus en plus lentement, jusqu'à la mort de l'arbre.

Les chiffres suivants donneront une idée de la marche de cette décroissance.

AGES	SAPINS du Jura (M. Brenot)	PIN MARITIME analysé par les élèves de l'école de Nancy	HÊTRE DE TAILLIS SOUS FUTAIE analysé par les élèves de l'école de Nancy
ans	0/0	0/0	0/0
5	»	10.2	»
10	»	»	22.2
15	16.9	5.0	16 3
20	»	»	16.0
25	12.7	3.3	16.7
30	»	»	14.0
35	8.8	2.3	10 1
40	»	»	13 1
45	7.1	1.9	12.1
50	»	»	14.6
55	5.5	1.6	12 5
60	»	»	6.3
65	3.9	1.3	4.7
70	»	»	5.0
75	3.2	1.2	4.4
80	»	»	3.6
85	3.0	1.0	3.6
90	»	»	4.4
95	2.5	0.98	3.5
100	»	»	»
105	2.4	0.89	»
110	»	»	»
115	2.2	0.86	»
120	»	»	»
125	2.1	»	»
130	»	»	»

Le taux d'accroissement du volume dépend naturellement de toutes les circonstances qui influent sur l'accroissement du volume. C'est ainsi qu'il est notablement plus fort sur des arbres isolés que sur des arbres en massif et pour ces derniers il est d'autant plus faible que le massif est plus serré. Les chiffres suivants en donneront la preuve.

Sapins dans des conditions de stations moyennes (d'apres Schuberg).

Taux d'accroissement du volume des tiges.

AGES	TAUX d'accroissement	TIGES à l'hectare	TAUX d'accroissement	TIGES à l'hectare
	0/0		0/0	
De 61 à 70 ans	4.7	2,400	5.7	1,300
De 71 à 80	3.2	1,770	4.3	960
De 81 à 90	3.0	1,350	4.4	770
De 91 à 100	2.3	1,100	2.7	640
De 101 à 110	1.3	900	2.4	530

Un arbre qui passe de l'état de massif serré à un état plus libre voit augmenter,et souvent dans de très fortes proportions, le taux de l'accroissement de son volume. Il n'est pas rare de voir ce taux d'accroissement aller jusqu'à tripler à la suite de coupes venant isoler les arbres qui avaient crû jusque-là à l'état serré, si bien que l'on a observé plus d'une fois des parcelles de forêt dans lesquelles on pouvait enlever un tiers, ou même plus, du matériel sur pied sans que la quantité de bois produite annuellement dans la parcelle en subît une diminution immédiate.

L'effet des coupes de dégagement varie suivant les sols et les climats. Sur les bons sols, aux expositions fraîches, il est plus certain et plus énergique que sur les terrains médiocres ou aux expositions du Sud et de l'Ouest. Il est bien naturel du reste que l'accroissement soit d'autant plus augmenté que l'arbre se

trouvait autrefois plus contrarié; l'effet le plus considérable s'observe chez des essences telles que le sapin ou le hêtre, ayant crû à l'état très serré et qu'on vient à éclaircir.

Toutefois le dégagement trop brusque d'arbres ayant vécu en massif peut être plus nuisible qu'utile. Ainsi chez certaines essences, comme le chêne, il provoque l'apparition de branches gourmandes qui amènent le dépérissement de la cime. D'autres essences, celles dont l'écorce n'est pas protégée par un rhytidome épais, comme le hêtre et le frêne, perdent leur écorce qui se détache par plaques. Enfin la destruction de l'état de massif expose les arbres aux ravages du vent et amène ordinairement des effets très nuisibles sur la fertilité du sol. Ces considérations peuvent expliquer comment des coupes faites en vue d'augmenter le taux d'accroissement ont pu, quelquefois, avoir un résultat peu sensible ou même mauvais (1).

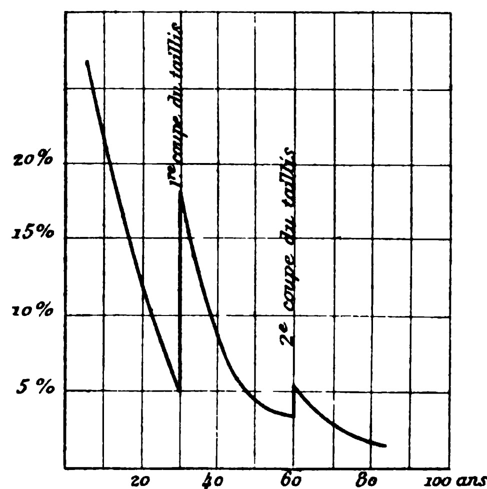


Fig. 100.— Taux d'accroissement du volume d'arbres réservés dans des taillis-sous-futaie.

Ordinairement l'effet de la coupe d'isolement dans des massifs jusque-là très serrés ne se fait sentir que 2 à 4 années après la coupe, ce n'est que dans des massifs jeunes et où les cimes n'étaient pas trop étriquées qu'on observe un effet considérable dès la première année. Cet effet est d'ail-

(1) Il ne sera pas inutile de répéter ici une fois de plus que l'éclaircie pratiquée sans discernement, d'une façon prématurée ou excessive, eu égard au climat, au sol, à l'essence, peut devenir tout à fait nuisible. C'est un procédé dont il ne faut user qu'à bon escient. L'éclaircie peut, de plus, avoir des effets défavorables au point de vue économique en augmentant le volume relatif des branchages dans le volume total des arbres, en nuisant à la formation du fût par l'élagage naturel. *Les résineux éclaircis d'une façon inconsidérée produisent des*

leurs passager: après avoir été d'abord en augmentant, le taux d'accroissement reprend bientôt la marche naturellement décroissante qu'il présente chez tous les arbres.

Le taux d'accroissement du volume des tiges des chênes de taillis-sous-futaie paraît suivre une marche analogue. La figure 100 traduit les résultats de recherches de M. Bartet. Des études faites par M. l'inspecteur des Forêts Galmiche, sur 853 chênes réservés au-dessus de taillis dans les forêts des environs de Darney (grès bigarré), ont donné les résultats suivants :

DIAMÈTRES à 1m,50 du sol	AGE	VOLUME total	TAUX d'accroissement du volume	DIAMÈTRES à 1m,50 du sol	AGE	VOLUME total	TAUX d'accroissement du volume
mètres	ans	m. cub.	0/0	mètres	ans	m. cub.	0/0
0,05	16	»		0,40	98	1.96	
			»				1.62
0,10	31	»		0,45	112	2.46	
			»				1.48
0,15	45	0.18		0,50	126	3.02	
			6.67				1.74
0,20	55	0.38		0,55	140	3.88	
			3.40				1.42
0,25	64	0.62		0,60	154	4.77	
			4.43				1.56
0,30	73	0.98		0,65	168	5.89	
			3.24				1.04
0,35	84	1.38		0,70	182	6.84	
			2.57				0.93
0,40	98	1.96		0,75	196	7.82	

bois de qualité inférieure, souvent encore dépréciés par la présence de nœuds noirs ou « à chevilles », provenant de chicots de branches persistants qui sont enclavés dans la tige. Il paraît aussi probable que les chênes à croissance rapide ont plus d'aubier que les autres, mais cette dernière assertion aurait encore besoin d'être confirmée.

CHAPITRE II

LE DÉVELOPPEMENT DES PEUPLEMENTS

SOMMAIRE

§ 1. — *Généralités.*

Définition des peuplements. Nature spéciale des peuplements étudiés. Peuplement principal, accessoire. Réduction progressive, avec l'âge, du nombre des tiges.

§ 2. — *Conséquences diverses de la diminution du nombre des tiges.*

Influence de l'élimination des tiges les plus faibles sur l'âge moyen, sur l'évolution de la hauteur, du diamètre moyen, de la surface terrière et du volume.

Production et accroissement.

§ 3. — *Recherche des lois de croissance des peuplements.*

Difficultés de la question résultant de la durée imposée aux observations.

Impossibilité d'identifier les stations forestières, faute d'un critérium de leur valeur.

Peuplements normaux.

Méthode des stations de recherches. Peuplements *se faisant suite.* Méthode Hartig. Incertitude des résultats obtenus dans la confection des *tables de production.*

L'incertitude n'existe pas au même degré en ce qui concerne les lois générales du développement des peuplements qui peuvent être considérées comme suffisamment probables.

§ 4. — *Les lois de croissance des peuplements.*

I. **Nombre de tiges à l'hectare.**
II. **Développement de la hauteur.**
III. **Développement du diamètre.**
IV. **Surface terrière des peuplements.**
V. **Développement du volume.** Accroissements annuels et moyens. Epoques du maximum. Extraits d'un certain nombre de tables de production.
VI. **Taux d'accroissement du volume.**

§ 5. — ***Influence des éclaircies sur la végétation des peuplements.***

Définition de l'éclaircie. Notions historiques: Tristan de Rostaing, Varenne de Fenille. Pressler.

Pratique de l'éclaircie. Contribution des diverses catégories de tiges à l'accroissement total du peuplement. Tiges d'élite. C'est à celles-ci seulement que s'adresse l'éclaircie. Influence des éclaircies sur le développement du diamètre, du volume, sur le taux d'accroissement du volume.

§ 1er. — *Généralités.*

Définitions. — On appelle peuplement l'ensemble des arbres qui croissent sur une parcelle de terrain forestier.

Les peuplements peuvent être d'âges multiples ou d'un seul âge; nous ne considérerons que ces derniers : ceux dont toutes les tiges sont nées à la même époque. De plus nous supposerons toujours que les arbres forment massif et qu'ils ont tous la même origine ; que le peuplement, naturel ou artificiel, semis ou plantation, provient directement de la germination de graines (1); enfin que ce peuplement est pur, c'est-à-dire formé de tiges appartenant toutes à la même essence.

Nous admettrons toujours, dans tout ce qui suivra, que le peuplement couvre une unité de surface, qui est un hectare.

(1) Les sylviculteurs ont pris l'habitude, depuis une cinquantaine d'années, de donner le nom de *futaie* à tous les peuplements, quel que soit leur âge, qui sont formés de brins de semence à l'exclusion des rejets de souche. Cette acception nouvelle du mot futaie, quoiqu'elle soit à peu près universellement adoptée aujourd'hui, est contraire à la fois à l'étymologie et à l'usage constant de nos prédécesseurs, pour qui la futaie était un peuplement dont les arbres s'étaient formés des fûts, avaient atteint un certain âge qui variait suivant l'usage local, mais qui était souvent de 40 ans. On est resté fidèle, dans le langage du droit, à l'ancienne terminologie; notre législation forestière serait parfois inintelligible si l'on ne tenait pas compte de la signification que le mot futaie a perdue par une innovation imitée de l'allemand où le mot *Hochwald* désigne aussi — quoiqu'à tort — tous les peuplements de semis, quel que soit leur âge. Du reste, les peuplements qu'il importe de distinguer ne sont pas tant les peuplements de rejets et ceux de semis que les peuplements nés du recépage de vieux bois (de plus de 40 ans par exemple), et ceux nés du recépage de jeunes bois ou produits par la germination de graines. Réaumur, entre autres, avait très bien fait cette distinction dès 1721. Les lois du développement des taillis sont presque ignorées complètement.

Il est regrettable que cette étude des taillis, que Réaumur a mise à l'ordre du jour il y a 183 ans, que Buffon, Varenne de Fenille et tant d'autres ont recommandée, n'ait pas encore été entreprise, quoiqu'elle soit relativement facile.



Ainsi, quand nous parlerons du nombre de tiges, du volume, etc., d'un peuplement, c'est du nombre de tiges, du volume à l'hectare que nous voudrons parler.

Peuplement principal, peuplement accessoire. — Tant qu'un peuplement est à l'état de semis, chacun des individus qui le composent se développe librement, sans souffrir ni bénéficier de la présence de ceux qui l'entourent. Bientôt les jeunes sujets, se développant, arrivent en contact par leurs racines et par leurs cimes; l'espace devient insuffisant et la lutte commence.

Le plus souvent, dès que le peuplement forme un fourré, certains individus plus vigoureux ou plus favorisés prennent de l'avance: ils s'élèvent au-dessus de leurs voisins et se retrouvent ainsi à l'état libre. Ils continuent alors à se développer rapidement tandis que les brins dominés dépérissent de plus en plus jusqu'à la mort. Il résulte de là qu'on trouve dans les peuplements des arbres à tous les états, depuis le brin dominé, mort ou mourant, jusqu'à l'arbre franchement prédominant.

L'ensemble des sujets formant massif, dont les cimes se développent à la même hauteur et reçoivent la lumière directe, au moins par leur partie supérieure, forme le *peuplement principal*. Les arbres retardataires, surcimés, dominés, constituent le *peuplement accessoire*.

Dans le présent chapitre nous aurons toujours en vue le peuplement principal. Dès que la cime d'un arbre se déforme, se réduit, celui-ci cesse d'appartenir au peuplement et devient un produit; c'est un revenu qui se détache du capital. Nous appelons *intermédiaires* les produits dus à l'élimination des tiges hors du peuplement, par opposition au *produit principal* qui est formé par les arbres ayant atteint l'âge d'exploitation.

§ 2. — *Conséquences diverses de la diminution des tiges.*

Conséquences au point de vue de l'âge moyen. — Supposons un peuplement renfermant des tiges dont l'âge varie de 40 à

60 ans et dont l'âge moyen actuel est de 52 ans. 30 années plus tard les tiges de la catégorie la plus jeune seront devenues moins nombreuses, car elles auront été éliminées du peuplement par la catégorie la plus âgée et l'âge moyen sera non pas de 52 + 30 ou 82 ans, mais de 86 ans par exemple. Ceci nous montre combien il peut être délicat d'attribuer un âge moyen à un peuplement qui n'est pas équienne.

Conséquences au point de vue du développement de la hauteur et du diamètre. — La diminution du nombre des tiges se faisant constamment aux dépens des arbres les moins vigoureux, il en résulte qu'un arbre actuellement moyen dans un peuplement était un arbre prédominant autrefois, et que la hauteur ou le diamètre moyen du peuplement croît plus vite que celui des arbres qui le composent. Ce que nous disons des hauteurs se dirait de même des diamètres.

Conséquences au point de vue de la surface terrière et du volume. — Lorsqu'un arbre d'une surface terrière et d'un volume donnés passe dans le peuplement accessoire, la surface terrière et le volume du peuplement principal sont naturellement diminués d'autant; le volume de tous les sujets éliminés du peuplement principal pendant la $p^{\text{ième}}$ année est à retrancher de la production du sol pendant cette année pour avoir la valeur du $p^{\text{ième}}$ accroissement annuel du volume.

C'est ici que survient une distinction importante entre la *production en matière* et *l'accroissement du peuplement* : la production en matière la $p^{\text{ième}}$ année est égale au $p^{\text{ième}}$ accroissement annuel plus le produit intermédiaire formé la $p^{\text{ième}}$ année. *La production en matière pendant une durée de* n *ans (ou, ce qui revient au même, la production annuelle d'une série de forêt aménagée à* n *ans) est égale au volume du peuplement de* n *ans, qui est la somme de tous les accroissements annuels de 1 à* n *ans, plus tous les produits intermédiaires réalisés avant* n *ans.*

Ce qui précède nous montre qu'il est impossible de déduire directement les lois du développement des peuplements de celles du développement de l'arbre (1), puisque ni la hauteur et le diamètre moyens, ni surtout la surface terrière et le volume, n'évoluent de la même manière dans le peuplement que dans les arbres, considérés individuellement, qui composent ce peuplement.

§ 3. — *Recherche des lois de la croissance des peuplements.*

Le moyen le plus simple et le plus certain d'arriver à connaître comment varient avec l'âge les différents éléments d'un peuplement, consiste à choisir un nombre suffisant (2) de jeunes peuplements, de l'essence qu'on veut étudier et dans les conditions où l'on veut l'étudier. On relève soigneusement leur nombre de tiges, hauteur et diamètre moyens, volume, etc., et on renouvelle périodiquement tous ces relevés, de cinq en cinq ans par exemple, jusqu'au dépérissement des peuplements. On obtient ainsi les éléments de tracés graphiques qui permettent de figurer parfaitement les lois de l'évolution de toutes les grandeurs (nombre de tiges, hauteur, etc.), que l'on a considérées.

Cette méthode, irréprochable en théorie, a l'inconvénient d'être à peu près inapplicable, parce qu'elle exigerait des observations poursuivies pendant 100 ou même 150 ans avant de donner des résultats complets (3). Aussi a-t-on dû chercher d'autres procédés.

(1) Cette remarque appartient à Varenne de Fenille (p. 16 du premier mémoire de 1790, dans l'édition Marchant de 1807).

(2) Théoriquement, un seul peuplement suffirait pour une même essence dans les mêmes conditions ; mais il faut compter avec les dangers d'incendie, de chablis, de délits, etc., qui peuvent rendre une place d'essai inutilisable et arrêter la suite des expériences. On est convenu généralement de donner à chaque place d'essai une surface d'au moins 25 ares.

(3) Une circulaire du Directeur général des Forêts, en date du 8 décembre 1873, a prescrit d'établir dans toutes les forêts domaniales aménagées en futaie pleine, une place d'expérience, contenant au moins cinquante ares, dans de jeunes peuplements où l'on n'aura encore fait aucune coupe intermédiaire, en vue de constater le développement et les produits de massifs régulièrement traités depuis

Le plus simple consiste à opérer, pour essayer de déterminer la loi suivant laquelle un des éléments des peuplements, le volume par exemple, varie avec l'âge, comme nous l'avons fait déjà pour fixer la loi de variation du volume des arbres en fonction des diamètres mesurés à hauteur d'homme. C'est-à-dire qu'on choisira, dans la région où l'on veut faire l'étude, des peuplements de l'essence considérée qui soient entièrement assimilables entre eux et ne diffèrent que par l'âge. Ils devront avoir crû en même sol, sous le même climat, avoir été traités exactement de même, etc. On déterminera leur âge et leur volume (1). On tracera ensuite sur une feuille de papier deux axes de coordonnées et on portera en abscisses les âges, en ordonnées les volumes. On obtiendra ainsi une série de points qui se trouveront dans une zone plus ou moins étroitement délimitée et qui permettront de tracer, avec plus ou moins de précision, une ligne unique qui indiquera, par sa forme, comment, dans les conditions où l'on s'est placé, le volume varie avec l'âge.

Ceci suppose que les peuplements sont *identiques à l'âge près*. Or il est impossible d'être certain de cette identité.

En effet on n'a encore découvert aucun critérium des qualités productives d'une station forestière. Il n'existe aucun moyen de mesurer la fertilité d'un sol de façon à pouvoir identifier deux sols, même voisins. En agriculture on juge un sol d'après l'abondance ou la qualité de ses produits; bien que ceux-ci soient annuels et qu'on puisse assez facilement connaître la production moyenne, abstraction faite des circonstances accidentelles, le problème ne comporte, même alors, qu'une solution approximative. En matière de forêts, le sol ne donne des récoltes qu'à de longs intervalles, et l'importance de ces récoltes est influencée par tant de circonstances étrangères au sol qu'il

leur naissance jusqu'à l'âge de maturité. Il serait fort désirable que les données recueillies jusqu'à présent fussent réunies et imprimées ; rien n'a été publié sur ce sujet, à notre connaissance, en dehors des mémoires émanant de la station de recherches de Nancy.

(1) Dans cette dernière détermination, on ne considère jamais, comme nous l'avons vu, que le peuplement principal, à l'exclusion du peuplement accessoire.

est à peu près impossible de qualifier ce sol avec quelque précision en se basant sur sa production. Nous restons donc sans moyen de nous assurer de l'identité de deux stations quant à leur sol (1). On pourrait presque en dire autant des conditions du climat local, si variables d'un point à l'autre. En somme, les conditions de station (sol et climat réunis) échappent à la mesure (2).

A cette cause d'incertitude s'en ajoute une autre, qui n'est pas moindre. Il faudrait, pour que la méthode soit bonne, que tous les peuplements considérés aient été traités, dans le passé, exactement de même. De plus ils devraient n'avoir été modifiés par aucun accident tel qu'incendie, chute de chablis, invasion d'insectes, etc., c'est-à-dire ils devraient être *entièrement normaux*. Or il est impossible de connaître le passé de peuplements quelque peu âgés, et tel qui paraîtra normal a pu subir, dans le passé, des influences qui ont profondément altéré ses éléments.

Il résulte de là que le cubage de peuplements d'âges divers, mais supposés identiques à tous les autres points de vue, ne renseigne qu'assez vaguement sur la loi de l'évolution naturelle du volume dans un peuplement unique. Une certaine part d'imagination, de fantaisie, entre nécessairement dans le tracé des courbes obtenues par le procédé que nous venons d'exposer, qui est cependant de beaucoup le plus employé par ceux qui ont abordé ce genre d'études en France ou à l'étranger.

Pour s'assurer, dans une certaine mesure, que les peuple-

(1) La fertilité d'un sol forestier n'en est pas non plus une qualité intrinsèque et varie considérablement avec le temps, sous l'action des végétations, d'un couvert plus ou moins complet, etc. Deux sols, actuellement semblables, peuvent ort bien ne l'avoir pas été il y a 30 ans et ne le seront sans doute plus dans l'avenir.

(2) Nous avons vu que l'on peut juger approximativement de la qualité d'une station par la longueur des pousses annuelles des arbres, mais celle-ci est aussi influencée par d'autres circonstances. Les conditions les plus favorables au développement de la hauteur ne sont pas toujours les plus favorables au développement du volume. A l'étranger, les stations de recherches forestière allemandes ont décidé de choisir comme critérium de la qualité d'une station le *volume* des peuplements à un âge convenu, qui est de cent ans. Cette solution, bien que peut-être la moins mauvaise, est cependant très critiquable.

ments d'âges variés que l'on considère comme *se faisant suite*, c'est-à-dire comme identiques à l'âge près, sont effectivement dans ce cas on peut employer le procédé suivant, dont on attribue la première idée à Ch. Heyer (1).

Il consiste à choisir le plus grand nombre possible de parcelles *ayant toutes été, jusqu'à présent, traitées exactement de même*, et dont les âges soient échelonnés sur toute la série qu'on veut étudier; de 1 à 150 ans par exemple. On les inventorie exactement et on recommence cet inventaire tous les 4 ou 5 ans. Au bout de 15 ans au moins, ou mieux encore de 20 à 25 ans, on construit pour chaque parcelle les fragments de courbes figurant la variation des différents éléments du peuplement pendant ce temps. Les courbes figurant le développement du volume sont les plus intéressantes et on les trace d'abord.

Si nous avons un nombre suffisant de places d'essai et si nos

(1) En France on a parfois employé, pour se faire une idée de la loi de croissance du volume des peuplements, le procédé suivant, que nous reproduisons d'après le *Traité de l'aménagement des forêts* de M. de Salomon (Voir au tome I, page 227) qui en attribue la paternité à G.-L. Hartig. « On cherche, dans une forêt située en bon sol et dans un état de peuplement complet, un canton de l'âge de 35 à 40 ans; on y mesure 25 ou 50 ares, et l'on y fait une éclaircie. On fait ensuite le cubage des bois réservés, on calcule les résultats pour l'hectare et on tient du tout une note exacte.

« On cherche ensuite dans la même forêt, ou dans une forêt semblable, un canton de 60 ans en aussi bon état que le premier canton qui a été examiné; on y choisit un emplacement où il existe autant, ou approximativement autant d'arbres qu'on en avait réservés lors de l'éclaircie faite dans la place d'essai du canton de 30 à 40 ans; on y mesure une contenance égale à la première, on y fait une nouvelle éclaircie et l'on détermine le volume de l'hectare des bois réservés.

« Après que l'éclaircie aura été faite dans le canton de 60 ans on recommencera l'opération dans un autre canton de l'âge de 80 ans, qui doit réunir toutes les conditions dont il a été question ci-dessus, etc., etc.

« Chacune de ces expériences doit être répétée quatre à six fois pour chaque essence de bois, afin d'obtenir des données moyennes qui s'approchent autant que possible de la réalité...

Nous reproduisons ici ce passage parce que la méthode qui y est décrite se retrouve indiquée dans la plupart des ouvrages sur l'aménagement qui ont été publiés en France jusqu'à ce jour. Elle a été suivie quelquefois, par exemple en 1842, par les aménagistes qui voulaient se rendre compte de la croissance des peuplements de pin sylvestre dans la forêt de Hagueneau. Elle revient, au fond, à supposer que des peuplements *se font suite* lorsqu'ils ont, au même âge, le même nombre de tiges, ce qui peut être fort inexact, le nombre des tiges étant certainement l'élément le moins caractéristique, le plus fortuit qu'on puisse considérer dans un peuplement, surtout lorsqu'il est jeune.

observations ont été prolongées assez longtemps nous verrons certains de ces fragments de courbes se raccorder les uns aux autres pour former une ligne continue de 1 à 150 ans.

Si une parcelle A, par exemple, âgée de 79 ans au début des recherches, inventoriée périodiquement de 79 à 107 ans, a montré, de 96 à 107 ans un développement identique à celui d'une autre parcelle B qui a été étudiée de 96 à 124 ans, nous admettrons que les parcelles A et B *se font suite*, c'est-à-dire nous présentent des peuplements identiques, à l'âge près. Nous obtenons, grâce à cet artifice, en une vingtaine d'années, des résultats qui sont à peu près aussi exacts que le comporte la matière. Les résultats sont naturellement d'autant plus sûrs qu'on poursuit les études plus longtemps et sur un plus grand nombre de places d'essai.

Tout ceci suppose que les peuplements étudiés se sont développés dans des conditions absolument identiques au point de vue du traitement, ce dont on ne peut jamais être bien certain. Il peut arriver qu'un peuplement, en sol très fertile, âgé aujourd'hui de 100 ans, ait perdu autrefois, par suite de chablis ou d'éclaircies très fortes, une portion assez notable de son volume pour n'avoir pas, à cet âge, un matériel plus considérable que celui d'une autre parcelle en sol médiocre; il peut encore arriver que, par suite de circonstances exceptionnelles, le développement du volume se fasse d'une manière peu différente dans les deux parcelles de 100 à 110 ans par exemple, bien qu'évidemment les deux peuplements ne se fassent pas suite. On n'échappe aux conséquences de ces anomalies qu'en multipliant et en prolongeant les observations.

On est du reste averti de singularités comme celle que nous venons de citer à titre d'exemple en construisant les courbes qui figurent le développement de la hauteur ou de la surface terrière. Voici, par exemple, une série de places d'essai A, B, C, D, dont les peuplements se font suite sur la courbe du volume. Construisons les courbes des hauteurs pour ces mêmes parcelles: si les différents fragments de courbes fournis par les parcelles

A, B, C, D... se raccordent bien nous admettrons que les peuplements se font suite réellement et nous nous en servirons pour nos études. Sinon, nous écarterons ces parcelles comme *anormales*, c'est-à-dire comme présentant, par suite de circonstances que nous ignorons dans leur passé (accidents météoriques, incendies, ravages d'insectes, délits, etc., etc...), une végétation anormale, exceptionnelle.

Telle est la méthode la plus recommandable pour étudier les peuplements dans leurs variations avec l'âge. C'est à elle qu'ont fini par se rallier la majorité de ceux qui sont chargés, en Allemagne, de ce genre de travaux. La fig. n° 101 donnera une idée exacte de cette méthode, telle qu'elle a été employée par la station de recherches badoise. Elle montrera en même temps quel est le degré de précision qu'on a pu obtenir dans la construction de la table badoise du sapin, que nous considérons comme une des plus intéressantes pour les forestiers français.

La méthode Heyer présente un inconvénient majeur au point de vue pratique : elle ne fournit des résultats qu'après une vingtaine d'années. Lorsqu'on se trouve dans la nécessité d'aboutir à bref délai on peut employer un procédé dû à Théodore et à Robert Hartig. Voici en quoi il consiste.

Si nous voulons connaître quel a été, à l'âge de 80 ans par exemple, le volume d'un peuplement de 150 ans que nous avons sous les yeux, prenons dans ce peuplement un nombre suffisant de sujets types et faisons-en l'analyse. Nous connaîtrons ainsi quels ont été, à 80 ans, la hauteur, le diamètre moyen et le volume de nos arbres d'expérience.

Cherchons alors dans le voisinage, dans des conditions bien identiques, un peuplement de 80 ans dont l'arbre moyen ait exactement la hauteur, le diamètre et le volume déterminés pour la moyenne de nos tiges d'expérience. Nous admettrons que ce peuplement est bien identique, à l'âge près, à celui de 150 ans où nous avons pris nos arbres d'essai. Nous n'aurons qu'à déterminer le nombre de ses tiges, leur surface terrière,

son volume, pour connaître tous les éléments, à 80 ans, du peuplement de 150 ans que nous avons sous les yeux.

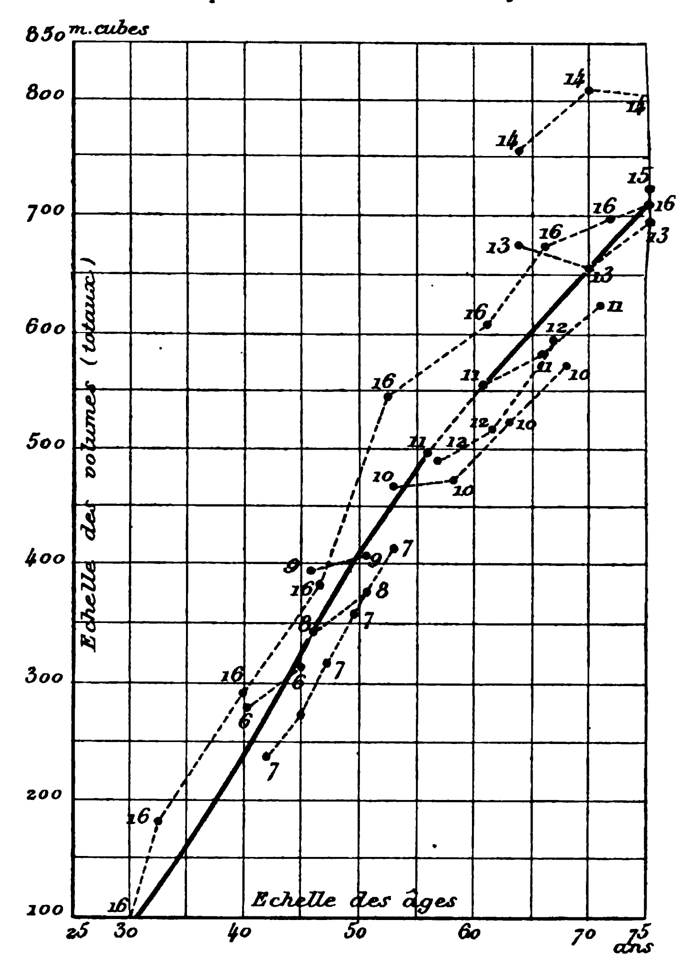


Fig. 101. — Construction de la table de production badoise pour le sapin dans des conditions de végétation bonnes (*IIᵉ Bonität*) entre les âges de 35 et 75 ans, d'après M. Eichhorn, de la station de recherches de Karlsruhe (1902).
(Les nombres inscrits sur la figure correspondent aux numéros d'ordre des places d'essai, les points aux résultats des inventaires successifs. La courbe moyenne, génératrice de la table, est tracée en trait noir épais.)

Ce procédé serait parfait si les tiges d'essai qui sont prises dans un peuplement de 150 ans pouvaient en effet nous faire connaître la hauteur, le diamètre, le volume moyen des tiges de

80 ans. En réalité ces tiges représentent l'arbre moyen du peuplement de 150 ans qui était *vraisemblablement* un arbre d'élite du peuplement de 80 ans et non pas un arbre moyen. Malgré cela le procédé Hartig, judicieusement employé, peut fournir, pour certaines essences (1), des résultats suffisamment exacts pour la pratique et même pour l'étude théorique; mais il a l'inconvénient d'exiger de très nombreuses analyses de tiges et d'entraîner ainsi un travail matériel énorme.

Dans tout ce qui précède nous avons admis implicitement que l'on pouvait déterminer avec une exactitude suffisante le volume, sur pied, des peuplements étudiés. Or nous avons vu, à la fin de la cinquième étude, que les méthodes de cubage employées officiellement par les stations de recherches allemandes peuvent entraîner des erreurs qui vont jusqu'à 10 ou même 13 p. 100 du volume vrai, soit en plus, soit en moins, c'est-à-dire que l'erreur de cubage peut être supérieure à la différence de volume que présentent, par exemple, une sapinière de 120 ans et une autre de 150 ans. Ceci est de nature à nous inspirer des doutes sur la certitude des conclusions des travaux presque innombrables qui ont été publiés au sujet des lois du développement du volume des peuplements (2). On n'échappe aux conséquences de l'imprécision des cubages, à défaut d'une méthode plus digne de confiance, que par la multiplication du nombre

(1) La méthode Hartig ne peut guère donner de bons résultats que pour des essences qui, comme le pin sylvestre, ne supportent pas du tout l'état dominé et dont toutes les tiges retardataires sont promptement et définitivement éliminées. Schuberg (*Die Weisstanne*, pp. 85 et suivantes), et M. Schwappach (*Wachstum.... normaler Fichten-Bestände*, pp. 44 et suivantes), l'ont trouvé inapplicable au sapin et à l'épicéa, parce que dans les peuplements âgés de ces essences on est exposé à trouver à l'état dominant ou même prédominant des arbres qui ont été retardataires une partie de leur existence, et dont le développement est, par suite, très anormal.

(2) Les tables de Cotta, publiées en 1821, donnent, pour les essences les plus variées (épicéas, pins, chênes, sapins, mélèzes, hêtres, bouleaux, érables, etc.) le volume d'année en année à un millième de mètre cube près, des peuplements répartis en dix classes de fertilité! Les forestiers actuels ont renoncé à cette extrême précision et les nouvelles tables ne donnent plus que les volumes de cinq en cinq ans, en nombres entiers de mètres cubes, et pour cinq classes de fertilité.

des opérations : on peut espérer que les erreurs accidentelles de cubage s'atténuent lorsque le nombre des peuplements étudiés devient excessivement grand. Cette compensation des erreurs n'est toutefois admissible que si tous les peuplements d'un même âge qu'on a englobés dans les recherches sont véritablement identiques sous tous les rapports.

On comprendra, après ce que nous venons de dire, que nous considérions avec un certain scepticisme les *Tables de production* (*Ertragstäfeln*) qui tiennent une si grande place dans la littérature forestière de l'Allemagne et enrichissent la plupart des procès-verbaux d'aménagement (1). Nous nous dispenserons donc d'en parler davantage et l'on n'en trouvera pas d'exemple reproduit dans cette étude, sauf cependant en ce qui concerne les tables badoises du sapin dont nous donnerons un extrait (2).

(1) On trouvera de nombreux extraits de ces tables, ainsi que de plus amples détails sur leur emploi et leur mode de construction, dans notre livre *les Arbres et les peuplements forestiers*, pages 89 et suivantes (Nancy, chez Berger-Levrault, 1903). Nous nous contenterons ici de renvoyer le lecteur à cet ouvrage qui a spécialement pour but de faire connaître en France les travaux allemands.

(2) Les motifs de ce choix sont les suivants :

D'abord le sapin est la seule des essences étudiées par les Allemands qui se retrouve chez nous, au moins dans les Vosges, dans des conditions de végétation à peu près semblables à celles qui lui sont présentées dans la Forêt Noire. Nos pineraies au contraire n'ont rien de commun avec celles des plaines allemandes, pas plus que nos pessières ou même nos futaies de hêtre.

Ensuite la station de recherches badoise possède un champ d'observation relativement limité dans le versant nord-occidental de la Forêt Noire, où se trouvent toutes ses 58 places d'essai. Cette région présente une homogénéité suffisante pour que l'on puisse admettre que les stations rangées sous la même *Bonität* (qualité de station) soient comparables. Sur les 58 places d'essai 19 appartiennent à la *Bonität* n° II (stations bonnes) et 28 à la *Bonität* IIIe (stations moyennes); nous ne citerons de chiffres que concernant ces deux classes. Les places d'essai de ces deux classes sont du reste sensiblement aux mêmes altitudes variant, pour la plupart, entre 250 et 400 mètres (en moyenne de 430^m pour les places d'essai de la IIe, de 370^m pour les places d'essai de la IIIe *Bonität*) sur des sols argilo-sableux provenant du grès bigarré ou du granit; les parcelles en granit paraissent, en général, plus fertiles.

Enfin les travaux badois s'appuient sur une longue suite de cubages dont les plus anciens remontent à une soixantaine d'années et n'ont jamais été interrompus. Certaines des places d'essai établies en 1843 ont été inventoriées neuf ou même dix fois déjà, ce qui fournit assurément une base qui n'est pas à dédaigner, et qu'on ne trouverait pas ailleurs. Il est vrai que les cubages effectués avant 1876 l'ont été par une méthode moins précise encore que celle des stations de recherches. Depuis 1876 les places d'essai, portées au nombre de 58, ont été l'objet de 206 inventaires. 28 d'entre elles ont été cubées quatre fois et neuf cinq fois. C'est sans doute moins qu'il ne serait utile, mais c'est à la rigueur suffisant.

Cependant, tout en restant dans un doute légitime quant à la précision rigoureuse des nombres inscrits dans les tables de production, nous considérerons comme convenablement établies, pour le moment, *les lois générales du développement* des peuplements telles qu'elles en découlent et telles que nous allons les exposer. Nous ferons du reste remarquer que, si les travaux des stations de recherches forestières ont contribué, pour la plus grande part, à nos connaissances sur cette matière ils n'en sont pourtant pas la source exclusive. L'étude des peuplements préoccupait déjà les forestiers français il y a près de deux siècles et nous aurons l'occasion de citer quelques résultats obtenus par nos prédécesseurs. De même en Allemagne on retrouverait facilement dans des ouvrages de la première moitié du siècle dernier le germe de connaissances que les travaux plus récents des stations de recherches ont confirmées et développées.

§ 4. — *Les lois de la végétation des peuplements.*

Nous rappelons, avant d'aller plus loin, que les seuls peuplements étudiés par les stations de recherches sont les peuplements de futaies, équiennes, purs et normaux. Ces peuplements n'ont, de plus, jamais subi d'éclaircies, les coupes intermédiaires se bornant systématiquement à l'enlèvement des bois morts ou dominés (1).

I. — **Nombre de tiges à l'hectare.** — De tous les éléments d'un peuplement le nombre des tiges est le plus sujet à des variations accidentelles. En effet, qu'un peuplement vienne à être interrompu par des chablis, les arbres restés sur pied développent leurs cimes, referment le massif, le volume et la surface terrière ne sont que peu ou pas diminués tandis que le nombre de tiges a pu être réduit du tiers ou davantage.

(1) Ce n'est qu'à une époque tout à fait récente que l'on a fait connaissance en Allemagne, avec l'éclaircie telle que nous la concevons en France et que les stations de recherches ont commencé à la pratiquer pour en étudier les effets.

Ce n'est guère qu'à partir de l'état de perchis bien constitué qu'on peut constater quelque uniformité dans le nombre de tiges des peuplements. A l'état de gaulis ce nombre est énorme et diminue avec une rapidité extrême, à raison de plusieurs milliers d'individus par an dans des peuplements très denses. Cette diminution devient, par suite, de plus en plus ralentie sans cesser jamais tout à fait tant que les arbres continuent à se développer.

Les chiffres ci-dessous donneront une idée du nombre de tiges qu'on trouve dans des peuplements de diverses essences croissant dans différentes conditions de végétation. Il est bien entendu qu'il s'agit (sauf pour la forêt de Bellême) de peuplements abandonnés à eux-mêmes sans que l'homme intervienne pour modifier suivant ses vues le nombre des tiges du peuplement principal.

Nombre de tiges à l'hectare à différents âges.

FORÊT De Bellême (Orne) *Procès-verbal d'aménagement* par M. Dagoury (1858) Futaie chêne et hêtre	SAPIN DANS LA FORÊT-NOIRE		
	Ages	Conditions de végétation — Bonnes	Conditions de végétation — Moyennes
ans — tiges.	ans	tiges	tiges
20 environ 20.000.	30	12 600	18.000
30 à 50 : de 1.200 à 4.000.	40	4.500	7.000
50 à 75 : de 3.000 à 1.500.	50	2 400	3.400
75 à 100 : de 700.	60	1.500	2.100
100 à 125 : de 500.	70	1.070	1.500
125 à 150 : de 320.	80	840	1.200
150 à 175 : de 240.	90	700	930
175 à 200 : de 200.	100	600	780
(Peuplements éclaircis, moyenne de 34 parcelles.)	110	530	670
	120	480	590

Si l'on voulait représenter par un tracé graphique la marche de la décroissance du nombre des tiges, on obtiendrait des courbes de la forme indiquée par les figures 102 et 103. La décroissance est plus rapide sur les bons sols, ce qui résulte naturellement de ce que, pour un même âge, les arbres y sont plus développés ; il y a donc d'autant moins d'arbres à l'hectare, à un

âge donné, que les conditions de végétation sont meilleures (1). La différence à cet égard entre les différentes stations diminue

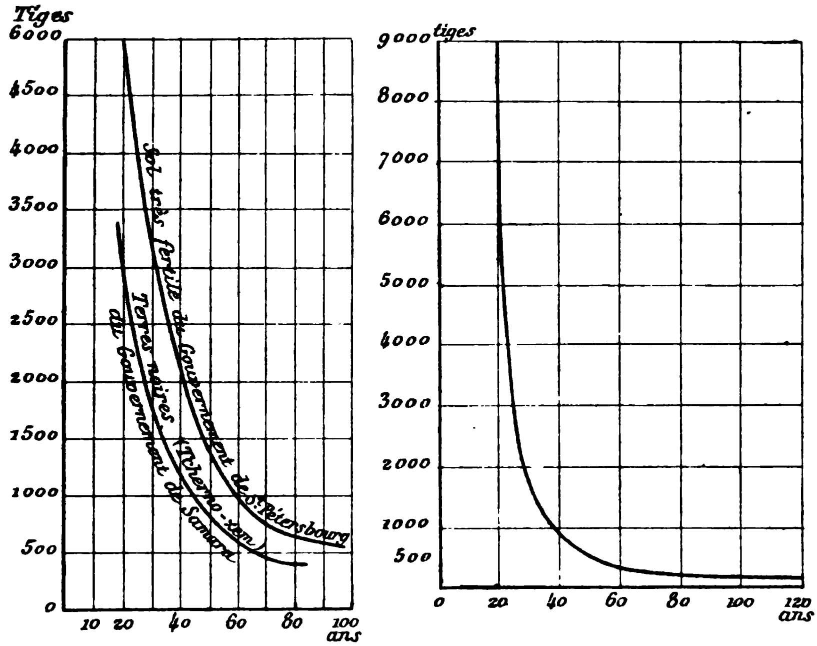


Fig. 102. — Décroissance du nombre de tiges à l'hectare dans un peuplement de bouleaux en Russie (d'après M. Wargas de Vedemar).

Fig. 103. — Décroissance du nombre de tiges à l'hectare dans un peuplement de pins sylvestres normalement éclairci (Extrait du procès-verbal d'aménagement de la forêt de Hagueneau de 1842 par Meynier, Talotte et Nanquette).

du reste avec l'âge parce que la décroissance persiste plus longtemps dans les mauvais sols que dans les bons.

On a aussi observé que le nombre de tiges à l'hectare augmente avec l'altitude dans les forêts de montagne. Ce fait, signalé par M. Schuberg dans la Forêt Noire (2), confirmé par les travaux de la station de recherches suisse, tient sans doute à ce qu'avec l'altitude la pente augmente et les conditions de végétation deviennent moins bonnes.

(1) Voir Varenne de Fenille, 3e mémoire, 1791, p. 75 de l'édition Marchant.

(2) Dans le recueil de M. Ganghofer, *Das forstliche Versuchswesen*, 1er volume, 1881, pp. 498, 499 et 505.

II. — **Développement de la hauteur.** — Nous avons dit que la hauteur moyenne d'un peuplement n'évolue pas exactement comme celle d'un arbre considéré individuellement. En effet, deux causes s'ajoutent pour provoquer l'accroissement de la hauteur moyenne : d'abord l'allongement de tous les arbres et ensuite l'élimination continuelle des sujets les moins hauts ce qui tend à élever la moyenne.

Cependant, en somme, les lois qui régissent le développement de la hauteur sont analogues chez les arbres et les peuplements. Les accroissements annuels, d'abord faibles, augmentent assez rapidement, restent quelque temps presque constants, puis décroissent et finissent par devenir à peu près nuls. Le maximum se produit d'autant plus tôt que les accroissements sont plus forts et augmentent plus vite.

III. — **Développement du diamètre.** — Dans les peuplements

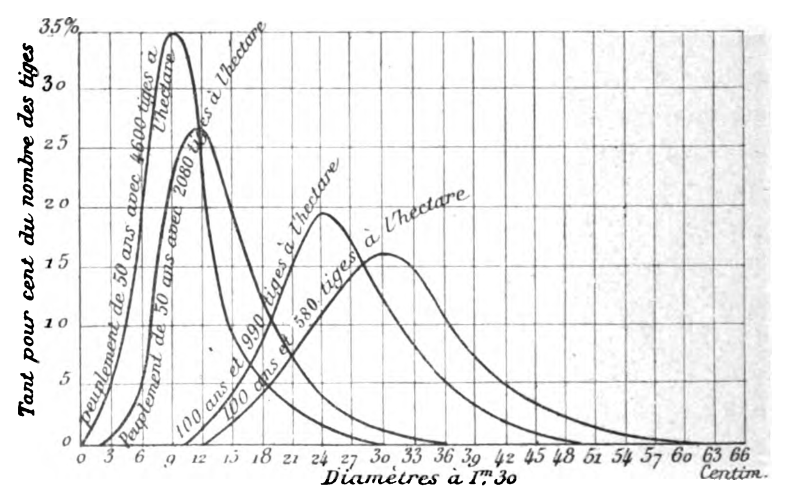


Fig. 104. — Répartition des tiges entre les différentes catégories de diamètres dans des peuplements de sapin non éclaircis de 50 ans renfermant l'un 4600, l'autre 2080 tiges à l'hectare et dans des peuplements de 100 ans renfermant l'un 990 et l'autre 580 tiges à l'hectare (d'après Schuberg). Conditions de végétation moyennes.

les plus réguliers en apparence, on observe toujours des différences de diamètre considérables entre les différents sujets. Ces différences vont en augmentant avec l'âge ; elles sont plus gran-

des dans les peuplements renfermant peu de tiges que dans ceux qui sont très serrés, ainsi qu'on peut le voir par un coup d'œil sur la figure 104.

A part cette remarque, ce que nous avons dit du développement de la hauteur moyenne pourrait se répéter à propos du diamètre moyen. Les tables badoises ci-après montrent l'évolution du diamètre moyen dans les peuplements de sapin, dans diverses conditions. La figure 105 le reproduit graphiquement.

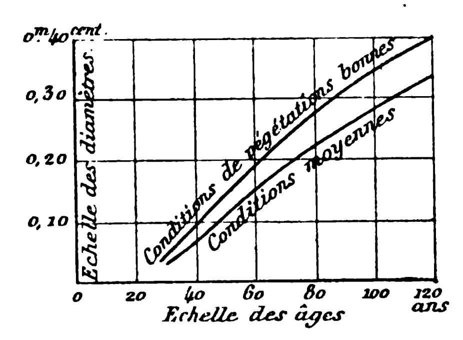


Fig. 105. — Croissance du diamètre moyen de peuplements de sapin dans la Forêt Noire, d'après M. Eichhorn, de la station de recherches badoise.

IV. — Surface terrière des peuplements. — On appelle surface terrière d'un peuplement la somme des surfaces des sections à hauteur d'homme (à 1 m. 30 du sol) de tous les arbres qui le composent (1).

La grandeur de la surface terrière n'est pas proportionnelle au nombre des tiges puisque le diamètre des tiges est d'autant plus grand qu'elles sont moins nombreuses. On constate, dans de certaines limites, que cette augmentation du diamètre chez l'individu compense l'effet du plus petit nombre des tiges. Ainsi deux peuplements de sapin de 82 ans, dans des conditions moyennes, avaient l'un 1.080 et l'autre 1.650 tiges, tandis que les surfaces terrières étaient 54 mq. 1 et 53 mq. 2 (2). Cependant, toutes choses égales d'ailleurs, les peuplements riches en tiges ont une surface terrière plus grande que les autres.

(1) La surface terrière constitue le meilleur critérium de la densité des peuplements, ou de l'intensité d'une coupe. Elle est bien supérieure, à cet égard, au volume parce qu'elle ne dépend ni de la hauteur, ni de la forme des arbres, nous souhaiterions lui voir jouer un plus grand rôle dans les études forestières en France.

(2) Places d'essai nos 42 et 43 de la station de recherches badoise.

La surface terrière d'un peuplement débute par une valeur très faible qui va ensuite en augmentant jusqu'à la fin de son existence. L'augmentation, rapide dans le jeune âge, devient plus faible à partir de l'âge moyen sans pourtant jamais cesser entièrement jusqu'à l'âge du dépérissement. Ainsi un peuplement de pins sylvestres, qui a une surface terrière de 14 mètres carrés à 20 ans, en a une de 36 à 80 ans et de 38 à 120 ans. L'accroissement de la surface terrière se ralentit plus vite et plus considérablement chez les essences qui, par suite de leur tempérament, ne comportent pas l'état serré (pin sylvestre, chêne, mélèze, etc.). Au contraire les essences résineuses formant des massifs très sombres comme le sapin et l'épicéa continuent plus longtemps à accroître leur surface terrière, et celle-ci peut alors

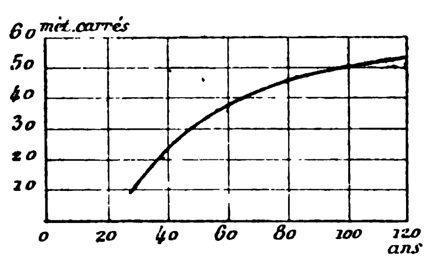


Fig. 106. — Croissance de la surface terrière d'un peuplement de sapin dans la Forêt Noire d'après M. Eichhorn, de la station de recherches badoise.

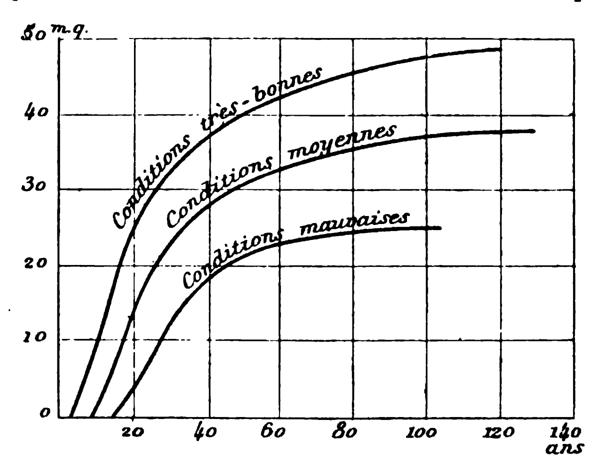


Fig. 107. — Surfaces terrières de peuplements de pin sylvestre dans les plaines basses de l'Allemagne du Nord (d'après M. Schwappach).

atteindre jusqu'à 80 mètres carrés vers 150 ans, tandis que pour le bouleau elle ne dépasse guère 32 mètres carrés, pour le

tremble 36 mètres carrés, pour le hêtre 46 mètres carrés, etc...

M. Schæffer admet que, dans une sapinière jardinée normale, elle est d'environ 36 mètres carrés, en ne tenant pas compte des tiges de moins de 0 m. 20 de diamètre (1).

Dans de mauvaises conditions de station, malgré le plus grand nombre de tiges, la surface terrière est toujours notablement plus faible que dans de bonnes conditions. D'une façon générale on peut dire que, vers 120 à 150 ans, la surface terrière des peuplements est égale, à peu près, à 0,4 au 0,5 p. 100 de la surface du terrain qu'ils couvrent (2). Chez le sapin et l'épicéa ce rapport peut aller à 0.8 p. 100.

V. — **Développement du volume.** — Le volume d'un peuplement est très faible dans les premières années et augmente d'abord lentement. Vers l'âge moyen (50 à 100 ans), il s'accroît très rapidement ; plus tard l'accroissement se ralentit sans jamais cesser jusqu'au moment du dépérissement du massif. Ce n'est que par suite de l'intervention de l'homme qui éclaircit les massifs (ou d'accidents agissant dans le même sens) qu'on peut voir des peuplements dont le volume reste stationnaire ou va même en décroissant avant le moment du dépérissement naturel.

Accroissements du volume. — L'accroissement annuel du volume, faible au début, augmente rapidement avec le temps et culmine (3) de bonne heure (vers 30 à 40 ans) chez les essences

(1) Voir *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1904, page 362.

(2) Dans un travail publié en 1843 par les *Annales forestières*, M. Poirson, inspecteur des forêts à Compiègne, a établi que la surface terrière d'un peuplement de chêne adulte varie très peu avec l'âge et reste comprise entre 44 et 49 mètres carrés. Déjà auparavant on avait, en France, énoncé cette loi que, dans un peuplement ayant atteint l'état de haut perchis, la somme des carrés des diamètres de toutes les tiges est une constante.

(3) « Dans les premières années, le bois croît de plus en plus, c'est-à-dire que la production de la seconde année est plus considérable que celle de la première année; l'accroissement de la troisième année est plus grand que celui de la seconde : ainsi l'accroissement du bois augmente jusqu'à un certain âge, après quoi il diminue. » (Buffon, *Expériences sur les végétaux*, 2e mémoire, 1739, p.444 de l'édition Faivre.)



à développement très rapide et dans de très bonnes conditions. Dans la plupart des cas cependant, le maximum se produit seulement vers l'âge moyen ou encore plus tard lorsque la végétation est très ralentie. A partir du maximum l'accroissement annuel diminue assez rapidement dans les bonnes conditions, lentement dans les mauvaises.

L'accroissement moyen, comme nous savons, d'abord inférieur à l'accroissement annuel et de plus en plus grand, lui devient égal, culmine, puis diminue lentement. Ses variations sont moins considérables que celles de l'accroissement annuel et le maximum se produit beaucoup plus tard.

La fig. 108, que nous empruntons à M. de Guttenberg, représente la marche des accroissements annuels et moyens des peu-

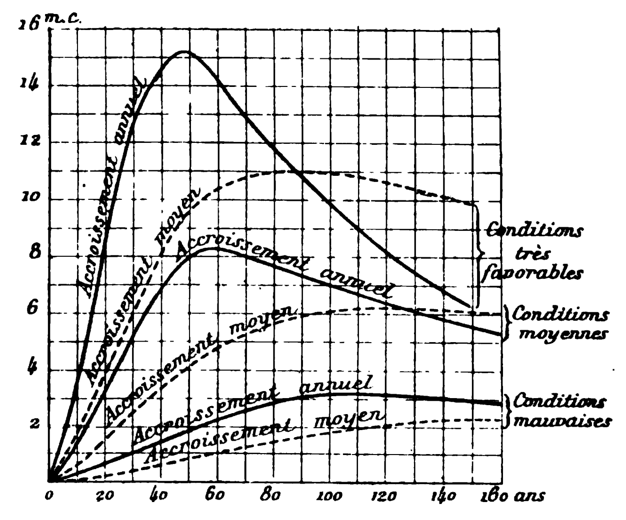


Fig. 108. — Accroissements du volume de peuplements d'épicéa dans les Hautes-Alpes autrichiennes (d'après v. Guttenberg).

plements d'épicéa des Hautes-Alpes autrichiennes dans des conditions très favorables, moyennes et mauvaises.

D'après les derniers travaux de la station de recherches badoise, le sapin présenterait son accroissement maximum aux époques suivantes :

SAPIN Conditions de végétation	ACCROISSEMENT ANNUEL		ACCROISSEMENT MOYEN	
	Epoque du maximum	Grandeur du maximum	Epoque du maximum	Grandeur du maximum
	ans	m. cub.	ans	m. cub.
Bonnes.........	40 à 45	17,6	70 à 80	9,4
Moyennes......	45 à 50	12,8	80 à 90	7,4

D'une façon générale, et sans vouloir attacher trop d'importance aux chiffres précis donnés par les auteurs, on peut admettre que le maximum de l'accroissement moyen apparaît, pour des massifs non éclaircis de la plupart des essences et dans des conditions moyennes, vers la fin du premier siècle de leur vie (75 à 110 ans). Cependant, pour les essences de lumière, surtout lorsqu'elles présentent une croissance rapide, le maximum de l'accroissement moyen peut se produire dès 50 ans environ.

Voici maintenant, d'après différents auteurs, la façon dont croît, avec l'âge, le volume de peuplements de diverses essences et dans diverses stations. On pourra remarquer que cette question a été étudiée en France longtemps avant les premiers écrits de G. L. Hartig; elle a été mise à l'ordre du jour par Réaumur qui, dans un mémoire de 1721, propose un véritable programme d'expériences à entreprendre pour étudier les lois des accroissements du volume des peuplements.

AGES	VOLUME, A L'HECTARE, DE PEUPLEMENTS								
	DE CHÊNE						Mélangés de chêne et hêtre		Mélangés de hêtre frêne et érable
	D'après de Perthuis (traité d'aménagement, 1788)			d'après les tables officielles pour le Spessart (Bavière)			Tables de l'aménagement de la forêt de Haguenau (1872)		Tables de la forêt du Sihlwald par M. U. Meister (Zürich, 1903)
	Sols très bons	Sols moyens	Sols mauvais	Sols très bons	Sols moyens	Sols mauvais	Sols très bons	Sols moyens	Sols bons
ans	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c	m. c.
10	27	20.5	13	11	9	6	»	»	36
15	66	36	16	»	»	»	»	»	59
20	95	58	21	44	28	13	»	»	83
25	132	84	34	»	»	»	»	»	108
30	170	106	41	85	53	22	»	»	136
35	221	132	44	»	»	»	»	»	167
40	265	154	38	122	76	32	»	»	201
50	353	195	31.5	163	101	42	»	»	278
60	441	236	20	207	131	55	»	»	363
70	504	261	13	254	160	67	»	»	450
80	567	293	6	305	189	80	550	370	532
90	605	306	»	357	226	94	640	430	601
100	643	321	»	412	260	108	730	490	640
120	718	359	»	519	328	136	880	580	»
140	781	391	»	»	»	»	»	»	»
150	806	403	»	»	»	»	»	»	»
200	851	422	»	»	»	»	»	»	»
250	756	378	»	»	»	»	»	»	»
300	693	347	»	»	»	»	»	»	»

Nous reproduisons enfin ci-dessous un extrait des **tables badoises sur la végétation du sapin**, que nous avons déjà citées à diverses reprises.

A. — Peuplement non éclaircis de sapin placés dans des conditions de végétation favorables.

AGE	VOLUME total	PROPORTION au volume total du menu bois	NOMBRE de tiges	SURFACE terrière	DIAMÈTRE moyen	HAUTEUR moyenne	ACCROISSEMENTS du peuplement principal	
							annuels	moyens
ans	m. cub.	0/0		m. carrés	centimètres	mètres	m. cubes	m. cubes
30	93	80	12.600	16.6	4.1	5.1		3.1
							12.6	
35	156	»	7.000	23.2	6.5	7.8		4 5
							17.4	
40	243	43	4.500	30.0	9 2	10.6		6.1
							17.6	
45	331	»	3.300	35.7	11.8	13.3		7.4
							15.8	
50	410	26	2.400	39.7	14.4	15.4		8.2
							14.0	
55	480	»	1.900	42.6	16.9	17.3		8.7
							12.6	
60	543	18.5	1.520	45.0	19.4	19.0		9.0
							11.6	
65	601	»	1.260	47.1	22	20.5		9.2
							10.8	
70	655	15	1.070	49.0	24	21.9		9.4
							10.0	
75	705	»	945	50.6	26	23.1		9.4
							9.2	
80	751	14	845	52.1	28	24.1		9.4
							8 4	
85	793	»	765	53.4	30	25.1		9.3
							7.8	
90	832	13.5	700	54.6	31.5	26.0		9.2
							7.2	
95	868	»	650	55.7	33	26.8		9.1
							6.4	
100	900	13	600	56.7	35	27.4		9.0
							5.8	
105	929	»	565	57.6	36	28.0		8.8
							5.2	
110	955	12.5	530	58.5	37.5	28.5		8.7
							4.8	
115	979	»	505	59.3	39	29.0		8.5
							4.2	
120	1.000	12 5	480	60.0	40	29.5		8.3

B. — Peuplements non éclaircis de sapin placés dans des conditions de végétation moyennes.

AGES	VOLUME Total	PROPORTION du menu bois au volume total	NOMBRE de tiges	SURFACE terrière	DIAMÈTRE moyen	HAUTEUR moyenne	ACCROISSEMENTS du peuplement principal annuels	moyens
ans	m. cubes	0/0		m. carrés	centimètres	mètres	m. cubes	m. cubes
30	69		18.000	12.8	3.0	3.8		2.3
							9.0	
35	114	75	11.000	18.5	4.6	5.8		3.3
							11.4	
40	171	55	7.000	24.6	6.7	8.0		4.3
							12.6	
45	234	»	4.800	30.0	8.9	10.2		5.2
							12.8	
50	298	31	3.400	33.8	11.2	12.3		6.0
							11.8	
55	357	»	2.600	36.7	13.3	14.2		6.5
							10.6	
60	410	22	2.130	39.2	15.3	15.7		6.8
							9.8	
65	459	»	1.760	41.4	17.3	17.0		7.1
							9.2	
70	505	17.5	1.500	43.2	19.1	18.3		7.2
							8.6	
75	548	»	1.310	44.9	21	19.4		7.3
							8.0	
80	588	15.5	1.160	46.4	23	20.4		7.3
							7.4	
85	625	»	1.030	47.7	24	21.4		7.4
							6.8	
90	659	14.5	930	48.9	26	22.2		7.3
							6.4	
95	691	»	850	50.0	27	22.9		7.3
							5.8	
100	720	14	780	51.1	29	23.5		7.2
							5.4	
105	747	»	725	52.1	30	24.1		7.1
							5.0	
110	772	13.5	670	53.0	32	24.6		7.0
							4.6	
115	795	»	630	53.8	33	25.1		6.9
							4.0	
120	816	13	590	54.5	34	25.5		6.8

VI. — **Taux d'accroissement du volume du peuplement principal.** — On calcule le taux d'accroissement du volume des peuplements par les mêmes formules que nous avons vues au § 10 du chapitre I, lorsqu'on connaît les volumes du peuplement au commencement et à la fin de la période qu'on considère. Sinon on détermine le taux d'accroissement en mesurant celui d'un nombre suffisant d'arbres d'expérience. Les différentes classes d'arbres d'un peuplement ayant des taux d'accroissement notablement différents, on opère de la façon suivante :

Un peuplement de sapin de 80 ans présente, par exemple :

130	tiges de	0m	15	de diamètre cubant	30	mètres cubes.
390	—	0	20	—	160	—
270	—	0	25	—	170	—
80	—	0	30	—	71	—
30	—	0	35	—	36	—
908					467	

On peut admettre que le taux d'accroissement varie assez peu dans l'intérieur d'une même catégorie de diamètre pour qu'on puisse le prendre égal à la moyenne d'un certain nombre d'arbres d'expérience. Nous obtenons ainsi des taux τ_{15} τ_{20} τ_{25} τ_{30} τ_{35} pour nos cinq catégories et nous prenons pour taux d'accroissement du peuplement

$$\tau = \frac{\tau_{15} + \tau_{20} + \tau_{25} + \tau_{30} + \tau_{35}}{467}.$$

Le taux auquel s'accroît le volume d'un peuplement suit une marche analogue à celle que nous avons observée pour l'arbre. Très grand dans la jeunesse, il diminue très rapidement d'abord, puis de plus en plus lentement jusqu'aux âges extrêmes. Les chiffres diffèrent du reste assez peu d'une essence à l'autre, au moins pour les résineux.

§ 5. — *Influence des éclaircies sur la végétation des peuplements.*

Définition de l'éclaircie. — L'éclaircie, telle que nous l'enten-

dons en France, est une opération qui consiste à dégager les sujets d'élite du peuplement principal de façon à ce que leurs cimes puissent se développer librement. Le but de l'opération est de hâter la croissance des tiges d'élite, et le moyen consiste à affranchir complètement leurs cimes de tout contact nuisible. L'éclaircie est d'autant plus facile qu'on a soin de respecter les arbres dominés encore vivants, dont la présence permet d'opérer vigoureusement sans danger pour le maintien de la forêt et la conservation de la fertilité du sol. A défaut de ce sous-bois naturel, l'éclaircie française suppose la création d'un sous-bois artificiel d'une essence d'ombre (ordinairement le hêtre) sous les peuplements qu'on veut éclaircir rationnellement.

Le premier forestier qui ait préconisé les éclaircies et dont les écrits nous soient connus est Tristan, marquis de Rostaing, qui était grand-maître-réformateur général des Eaux et Forêts sous le roi Charles IX (1). Rostaing recommandait les éclaircies en vue d'améliorer la végétation des futaies; ces éclaircies n'étaient du reste probablement plus une nouveauté de son temps, car nous savons (par Varenne de Fenille) que certaines forêts résineuses étaient régulièrement éclaircies depuis longtemps lorsque parut l'ordonnance de 1669. On dit même que Rostaing connut le procédé de régénération des futaies par coupes successives. — La plupart des auteurs forestiers du XVIII[e] siècle ont parlé des *coupes par éclaircissement*, mais aucun ne l'a fait plus magistralement que Varenne de Fenille dans ses trois mémoires imprimés en 1790 et 1791 et réédités en 1807. On y trouve la théorie à peu près complète des éclaircies telle que nous la ferions encore aujourd'hui. Varenne de Fenille fait notamment observer que l'éclaircie modérée favorise l'accroissement en hauteur, hâte le développement du diamètre et donne

(1) Rostaing fut l'avant-dernier titulaire de cette charge créée en 1376 par le roi Charles V. Il quitta le service du roi en 1567; son tombeau se trouve à l'église de Saint-Germain-l'Auxerrois à Paris. Malgré nos recherches, il ne nous a pas été possible, jusqu'à présent, de nous procurer l'original de ses œuvres Il est cité par Meaume, p.172 du tome XXV du *Répertoire* de Dalloz: par M.Clavé.p.102 de ses *Etudes sur l'économie forestière*, et par plusieurs auteurs qui paraissent avoir pris leurs renseignements dans l'ouvrage de Meaume.



ainsi des produits plus précieux à un âge moins avancé ; qu'elle fournit des produits intermédiaires considérables qui font augmenter la rente et le taux de placement ; qu'elle peut retarder le moment où se produit l'accroissement maximum; qu'elle permet d'élever au milieu de massifs de chêne ou de hêtre des essences intéressantes, mais moins longévives qu'on exploite, au fur et à mesure de leur maturité, lors des éclaircies. C'est à lui qu'appartient cet aphorisme souvent cité *qu'en surchargeant les futaies on produit plus d'arbres et moins de bois.*

En Allemagne, G.-L. Hartig, et après lui H. Cotta enseignèrent que la coupe intermédiaire doit être réduite à l'enlèvement des bois morts ou mourants. Ces idées sont encore universellement suivies aujourd'hui chez nos voisins, qui appellent forte une éclaircie qui réalise des bois dominés, mais dont la cime n'est encore desséchée qu'en partie.

Pressler, qui fut un des plus grands remueurs d'idées qu'ait produit l'Allemagne forestière, avait été conduit, il y a 40 ans environ, par des considérations d'ordre financier, à préconiser des âges d'exploitation de 70 à 90 ans pour les futaies. Préoccupé de ce fait qu'en coupant des arbres aussi jeunes on n'obtiendrait plus suffisamment de gros bois, il recherча un moyen de hâter le grossissement des arbres par des opérations appropriées et il fut un des premiers dans son pays à recommander la culture des arbres à l'état plus ou moins dégagé. Après lui, les stations de recherches forestières ont commencé à étudier la question qui est maintenant à l'ordre du jour en Allemagne. L'influence des divers degrés d'éclaircie ou même des coupes d'isolement avec sous-bois artificiel est étudiée par les stations de recherches allemande, autrichienne et suisse sur des centaines de places d'essais.

Pratique de l'éclaircie. — Les peuplements très serrés ont, comme nous savons, un accroissement en hauteur plus faible que les autres. Les arbres fortement dégagés présentent au contraire une tendance à ralentir de meilleure heure leur dévelop-

pement en hauteur et surtout la dénudation de leur fût. Il y a donc un intérêt sérieux à ne pas éclaircir trop vigoureusement les peuplements avant que la hauteur totale et la hauteur du fût ne soient devenues suffisantes. Ce n'est qu'à partir de ce moment qu'on commencera à opérer avec hardiesse, en dégageant complètement la cime des plus beaux arbres, mais en respectant avec soin les arbres encore vivants qu'ils dominent.

C'est l'accroissement d'un nombre relativement faible de tiges d'élite que nous nous occupons uniquement de favoriser (1). Les tiges d'élite sont, dans un peuplement d'une seule essence, celles qui sont les plus vigoureuses et les mieux conformées. On sait en effet que, à tous les âges de la vie d'un peuplement, la production est due pour la plus grande partie à un assez petit nombre d'arbres.

Les chiffres suivants le montrent avec évidence (2).

Dans une sapinière de 83 ans, nous avons, en 1892, installé une place d'essai d'une surface de 52 ares dont nous avons ceinturé et numéroté tous les arbres après les avoir divisés en quatre groupes : les arbres prédominants, dominants, retardataires et dominés. Pendant une période de sept années consécutives, la

(1) Lorsqu'on pratique une éclaircie l'on ne doit en aucune manière se préoccuper du *nombre* des arbres qu'on dégage, mais bien dégager *tous ceux qui le méritent* par leurs qualités d'arbre d'élite et qui en ont besoin. Leur nombre sera une conséquence ; il ne saurait être un but à poursuivre. Il ne s'agit nullement de distinguer, dès le début des opérations, les tiges qui sont destinées à arriver jusqu'à l'âge d'exploitation, c'est-à-dire à former le produit principal, et de les favoriser à l'exclusion des autres. En effet, il est absolument impossible de distinguer dans un perchis de chêne de 30 ans quelles sont les 200 ou 250 tiges qui formeront le peuplement exploitable et cela est encore plus impossible, s'il est permis de s'exprimer ainsi, dans un perchis de hêtre ou de sapin. L'expérience nous a appris surabondamment que, même dans un perchis de chêne, tel arbre qui été prédominant à 40 ans peut être devenu retardataire, quelquefois même dominé dix ans plus tard, malgré le dégagement et qu'inversement un arbre du peuplement accessoire dans une chênaie de 40 ans peut être devenu dominant à 50 ans. Le dégagement ne profite pas toujours à celui en vue duquel on l'a effectué. Ensuite nous ne concevons pas pourquoi l'on favoriserait uniquement la croissance des arbres destinés à vivre jusqu'à 180 ans, par exemple, si tel est l'âge d'exploitation prévu. Ceux qui tomberont à 160, 140, 120, 100 ans, etc., à l'état de produit intermédiaire, méritent assurément, eux aussi, d'être dégagés.

(2) Voir pour plus de détails le mémoire publié par M. Cuif, de la station de recherches de Nancy. *Influence des éclaircies dans les peuplements réguliers de sapin*. Paris, Laveur, éditeur, 1905.

contribution des deux premières catégories au développement du volume du peuplement principal a été :

	Proportion du nombre des tiges au nombre total	Contribution à l'accroissement total
Tiges prédominantes	11.6 0/0	36 0/0
Tiges dominantes	27.4 0/0	47 0/0
	49.0 0/0	83 0/0

Une autre place d'essai, installée par nous en 1894 dans une sapinière de 75 ans, a donné, pour une période de dix années consécutives :

	Proportion du nombre des tiges au nombre total	Contribution à l'accroissement total
Tiges prédominantes	9.1 0/0	40.7 0/0
Tiges dominantes	30.0 0/0	53 0/0
	39.1	93. 0/0

On voit qu'il suffit de moins du dixième du nombre des tiges pour former les deux cinquièmes environ de l'accroissement total du volume dans des sapinières d'âge moyen, et que le tiers des tiges, choisi parmi les plus fortes, produit parfois à lui seul les neuf dixièmes de cet accroissement. Ce fait est d'autant plus intéressant que la production des tiges d'élite est entièrement acquise aux produits qui ont le plus de valeur à l'unité de volume.

Influence de l'éclaircie sur le développement du diamètre. — Ce que nous avons dit du développement du diamètre chez les arbres nous dispensera d'insister au sujet de l'action de l'éclaircie sur la croissance du diamètre moyen des peuplements. Nous en donnerons un exemple qui nous est fourni par les places d'essai mentionnées ci-dessus de la forêt domaniale de Celles (Vosges).

Des perchis de sapin de 75 à 80 ans ont été soigneusement éclaircis, tandis que d'autres, contigus, n'ont subi d'autres opérations que l'extraction des bois morts. L'expérience de dix années a montré que :

1° Les arbres des places éclaircies ont accrû leur diamètre

exactement deux fois plus que ceux des places non éclaircies;

2° Ce sont les arbres dominants qui profitent le plus du desserrement des cimes. Les arbres prédominants sont moins influencés, ceux retardataires ou dominés ne le sont que faiblement, quelquefois pas du tout.

Influence de l'éclaircie sur le développement du volume. — L'influence de l'éclaircie sur le développement du volume d'un peuplement peut être extrêmement variable suivant son intensité et aussi selon les circonstances. Les essences les plus sensibles à l'éclaircie paraissent être le sapin, le hêtre et l'épicéa dont les massifs ont une tendance naturelle à se constituer à l'état très serré et dont les cimes se développent facilement lorsqu'on leur donne de l'espace. L'effet est aussi plus considérable sur des peuplements d'âge moyen que sur des peuplements âgés, sur des sols fertiles que sur des sols médiocres. Il peut être nul, ou même de sens inverse au sens habituel sur des terrains secs superficiels ou pauvres. Là il convient toujours de n'éclaircir qu'avec la plus grande prudence sans découvrir le sol.

On a fort peu de données numériques certaines à propos de l'action des éclaircies sur l'évolution du volume des massifs. Nous admettons cependant depuis longtemps en France que, dans un peuplement normalement éclairci, le volume des bois sur pied cesse d'augmenter à partir d'un âge relativement peu avancé, et qu'il reste alors constant, si même il ne va pas en décroissant après avoir passé par un maximum. Les tables pour le chêne, établies par de Perthuis en 1788, nous montrent nettement ce phénomène (1). Une table de production pour le pin sylvestre, datée de 1842, et due à la collaboration de Meynier, Talotte et Nanquette, nous montre un maximum pour le volume des peuplements à 100 ans (2). Plus récemment, M. Brenot, chef

(1) Voir plus haut, page 258.

(2) Cette table se trouve insérée dans le procès-verbal d'aménagement de la forêt de Haguenau. C'est dans celle-ci que les auteurs avaient réuni les éléments de leur étude. Voir plus loin la figure 118 construite d'après les données réunies par les aménagistes.

du service des aménagements à Besançon, l'a mis en évidence à plusieurs reprises, tant pour le sapin que pour l'épicéa (1). Nous l'avions signalé nous-même (2) en 1892. Enfin il se trouve confirmé par les dernières publications de la station de recherches prussienne sur l'épicéa (3).

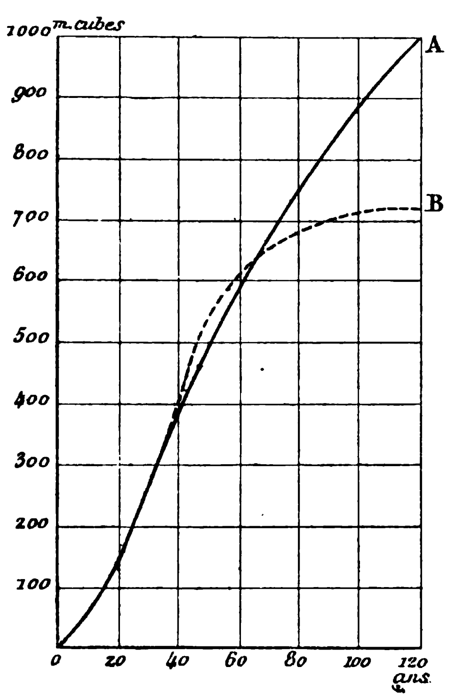


Fig. 109. — Développements comparés probables du volume de peuplements d'épicéa éclaircis ou non.
A. Peuplement non éclairci.
B. Peuplement éclairci.

Les accroissements du volume du peuplement principal sont-ils plus forts dans des peuplements éclaircis ? Le fait paraît établi, au moins pour des peuplements d'un âge au plus moyen. Les expériences que nous avons instituées dans des peuplements de sapin de 75 à 80 ans, auxquelles nous avons déjà fait allusion plusieurs fois, ont montré un accroissement annuel augmenté de 12,5 à 17,4 p.100 par la pratique de l'éclaircie (4). Des relevés effectués dans la

(1) *La méthode expérimentale appliquée aux forêts*, par L. Brenot. Besançon, chez Dovivers et Cie, 1892, page 193.

(2) *Les Arbres et les peuplements forestiers*, Nancy, chez Berger-Levrault et Cie, 1893, pages 139 à 141. Le tracé de la page 141, que nous reproduisons ici (figure 109), représentant l'évolution probable du volume d'un peuplement d'épicéa éclairci, présente une analogie remarquable avec celui qu'on construirait au moyen des nouvelles tables prussiennes de 1902 pour peuplements éclaircis dont il va être question.

(3) *Wachstum... normaler Fichtenbestände*, par M. le Professeur D.-A. Schwappach, de la station de recherches d'Eberswalde. Neudamm, 1902, Neumann, éditeur. Un compte-rendu détaillé de cet ouvrage se trouve dans la *Revue des Eaux et Forêts*, volume de 1903, pages 179 et suiv.

(4) Voir le mémoire précité de M. Cuif, page 66.

forêt du Sihlwald par la station suisse ont montré que, dans un peuplement d'épicéa âgé de 38 ans en 1896, croissant en sol très fertile, l'accroissement de volume du peuplement principal en dix ans, de 1889 à 1899, était de 136 mètres cubes par hectare lorsqu'on ne faisait pas d'éclaircies et de 207 lorsqu'on en pratiquait; c'est une augmentation de 52 p. 100 due à l'éclaircie. Cependant il n'est pas certain qu'il en soit de même dans les peuplements âgés; les données manquent à ce sujet.

Enfin nous savons que l'on peut, en maniant bien l'éclaircie, retarder le moment où l'accroissement du volume des massifs commencera à baisser, ce qui permet de prolonger la durée des révolutions sans rien perdre sur la quantité du rendement matière des produits principaux. Cette observation, déjà faite par Varenne de Fenille il y a plus d'un siècle, reste la plus intéressante que nous puissions présenter ici.

Un fait certain est l'influence de l'éclaircie sur le taux d'accroissement du volume du peuplement principal. Toutes les expériences pratiquées nous montrent ce taux augmenté dans des proportions parfois énormes (jusqu'à 200 p. 100) par l'éclaircie. Ce phénomène se présente d'une façon constante, pour toutes les essences, à tous âges.

Le procès-verbal d'aménagement de la forêt de Hagueneau, rédigé en 1842 (1), renferme quelques observations intéressantes à propos de l'effet des éclaircies sur le taux d'accroissement; nous les reproduisons de préférence à beaucoup d'autres dont nous disposerions parce que ces chiffres sont inédits et qu'ils montrent que la question préoccupait les forestiers en France, il y a plus d'un demi-siècle déjà.

(1) Par Meynier, Talotte et Nanquette.

Influence de l'éclaircie sur le taux d'accroissement du volume des peuplements

D'après le procès-verbal d'aménagement de la forêt de Haguenau, de 1842

AGES	CHÊNE		PIN SYLVESTRE		HÊTRE		CHARME		FRÊNE		AGES	AULNE	
	Massif serré	Massif éclairci	Massif serré	Massif éclairci	Massif serré	Massif éclairci	Massif serré	Massif éclairci	Massif serré	Massif éclairci		Massif serré	Massif éclairci
ans	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	ans	0/0	0/0
30 à 40	4.5	9.0	3.0	7.0	4.0	10.0	3.4	8.0	1.3	3.0	20 à 30	2.0	4.0
40 à 50	2.0	7.0	1.5	5.0	2.5	8.0	1.5	5.0	1.3	2.0	30 à 40	1.0	2.0
50 à 60	1.5	5.0	1.0	3.0	1.6	5.0	1.2	3.6	1.2	2.0	40 à 50	0.4	1.4
60 à 80	1.0	3.5	0.4	1.2	0.6	2.0	0.6	2.0	0.4	1.9			
80 à 100	0.35	1.75	0.2	1.00	0.4	2.0	0.4	2.0	0.2	1.0			
100 à 120	»	0.9	»	0.30	»	0.9	»	0.9	»	»			
120 à 140	»	0.65	»	»	»	»	»	»	»	»			
140 à 160	»	0.30	»	»	»	»	»	»	»	»			

Malheureusement les divers peuplements d'une même essence étudiés par les aménagistes de Haguenau ne paraissent pas toujours exactement comparables entre eux; mais malgré cela on voit, d'une façon générale, que l'effet de l'éclaircie paraît être le plus considérable au moment du maximum de l'accroissement annuel (vers 60 à 100 ans) et que, dans l'ensemble, les essences comme le hêtre et même le chêne qui forment des massifs bien pleins sont plus sensibles à l'éclaircie que le pin sylvestre, le frêne et l'aulne (1).

(1) Voir la note de la page 234 (à la fin du chapitre précédent) sur les inconvénients qui peuvent résulter de la pratique des éclaircies.

CHAPITRE III

LA PRODUCTION EN MATIÈRE

SOMMAIRE

§ 1. — *Les produits intermédiaires.*

Définition du produit intermédiaire. Sa grandeur à différents âges. Rapport entre le volume du produit intermédiaire et celui du produit principal ou total.

§ 2. — *Production en matière*

Production annuelle et taux de production.

Influence des éclaircies. Places d'essai de la forêt de Celles. Places d'essai de la station de recherches saxonne. Places d'essai de la station de recherches suisse.

§ 1. — *Les produits intermédiaires.*

Les arbres éliminés du peuplement principal, vaincus dans la lutte pour l'espace, ne tardent pas à périr et à disparaître si on ne vient les réaliser; c'est leur réalisation qui fournit le produit intermédiaire, c'est-à-dire celui qui est recueilli à des époques intermédiaires entre la naissance et l'âge d'exploitation du peuplement principal (1).

Les produits intermédiaires se forment d'une façon continue, mais on ne vient les récolter qu'à des intervalles plus ou moins éloignés suivant l'activité de la végétation. Nous supposerons, dans ce qui va suivre, qu'on fait les coupes intermédiaires à des intervalles réguliers, de 10 ans.

(1) Nous ne parlons ici, bien entendu, qu'au point de vue économique. Il peut y avoir des raisons culturales de ne pas couper systématiquement les arbres dominés, mais nous n'avons pas à nous en préoccuper ici. Voir pour la définition du produit intermédiaire, page 238.

Nous savons par le chapitre précédent que le nombre des tiges à récolter en produits intermédiaires est d'abord très grand, puis diminue très rapidement ainsi un peuplement de pin qui perd 1,500 tiges de 20 à 30 ans n'en perdra plus que 35 de 110 à 120 ans, mais en revanche le volume moyen des arbres éliminés va constamment en augmentant.

L'observation a montré que le volume des produits intermédiaires éliminés est d'abord faible ; qu'il va en augmentant jusque vers l'âge de 50 à 80 ans, un peu plus longtemps chez les essences formant des massifs très denses que chez celles qui s'éclaircissent naturellement de bonne heure, puis passe par un maximum après lequel il diminue jusqu'à la fin de la vie du peuplement. Le maximum se produit plus tôt quand les condi-

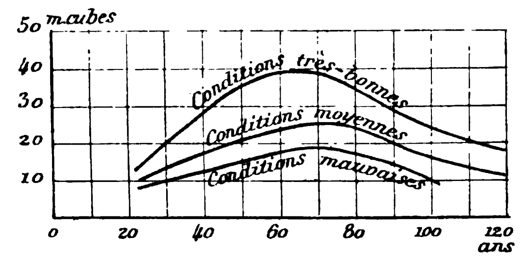


Fig. 110. — Volume des produits intermédiaires à différents âges dans des peuplements de hêtre (d'après Danckelmann).

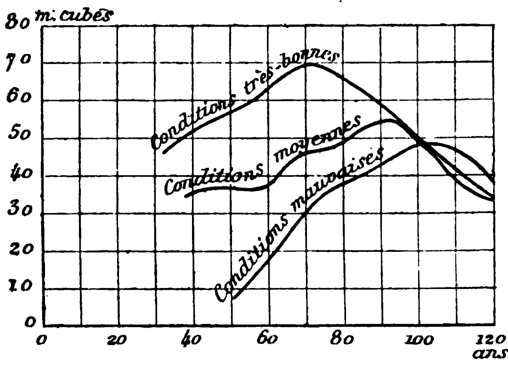


Fig. 111. — Volume des produits intermédiaires à différents âges dans des peuplements de sapin (d'après Schuberg).

tions de station sont favorables. Le tableau ci-dessous et les figures 110 et 111 préciseront ce que nous venons de dire. Nous

croyons utile de rappeler encore une fois qu'il s'agit de peuplements entièrement abandonnés à l'action de la nature et que c'est cette action seule qui élimine du peuplement les produits intermédiaires que l'homme ne fait que récolter sans agir pour augmenter leur importance.

Produits intermédiaires à différents âges.

AGES	Dans des peuplements de sapins (D'après M. Eichhorn) — Conditions de station	Dans des peuplements d'épicéa (D'après M. Schwappach) — Conditions de station		
	bonnes	très bonnes	moyennes	mauvaises
ans	mètres cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes
20	»	»	»	»
30	»	34	»	»
40	»	58	22	»
50	65	69	30	9
60	80	72	40	14
70	85	66	48	19
80	80	59	53	23
90	75	55	53	26
100	70	48	47	25
110	60	43	40	»
120	50	41	32	»

Si l'on compare le revenu total d'un peuplement en produits intermédiaires au produit principal qu'il fournira lorsqu'il sera devenu exploitable on constate, d'après les tables badoises, qu'un peuplement de sapin placé dans de bonnes conditions fournit au cours de sa croissance,en produits intermédiaires, environ 56 p. 100 de ce qu'il donnera en produit principal à l'âge de 120 ans. Pour l'épicéa cette proportion serait un peu plus faible, 43 p. 100 (d'après M. Schwappach), le peuplement étant supposé devoir être réalisé au même âge de 120 ans; pour le pin sylvestre il serait de 50 à 60 p. 100 d'après le même auteur.

Lorsque les peuplements sont parcourus par des coupes d'éclaircie périodiques, suivant la pratique française, le volume relatif du produit intermédiaire est naturellement de beaucoup

supérieur. Nous avons vu (1) que, dans des peuplements de chêne normalement éclaircis, les produits intermédiaires présentent, au total, un volume qui varie de 66 à 100 p.100 du volume que le peuplement fournit en produit principal vers l'âge de 200 ans. Il est beaucoup plus difficile de donner des chiffres pour les peuplements de sapin à cause de l'importance, dans ces forêts, des produits accidentels (chablis, etc.) et de leur irrégularité. Il semble toutefois que, dans les sapinières exploitées vers 150 ans, le produit intermédiaire représente encore au moins moitié du produit principal, lorsque les peuplements sont pleins et réguliers; ce chiffre peut même être notablement dépassé.

§ 2. — *Production en matière.*

Production annuelle et taux de production. — Nous avons déjà fait remarquer, chap. II, § 2, que l'accroissement annuel du peuplement principal ne représente pas toute la production : il faut de plus y ajouter le volume des bois qui passent dans le peuplement accessoire pendant l'année considérée. La production est donc toujours supérieure à l'accroissement du volume du peuplement principal. Elle suit du reste une marche analogue, son maximum se produit généralement un peu plus tard parce que le volume des produits intermédiaires culmine ordinairement plus tard que l'accroissement annuel du volume du produit principal.

Si nous divisons le volume de la production annuelle du peuplement par le volume de ce peuplement, nous aurons le taux de production à l'âge considéré. Ce taux, naturellement supérieur à celui auquel s'accroît le volume du peuplement principal, suit la même marche dans l'ensemble.

Influence de l'éclaircie sur la production et sur le taux de production. — Le résultat le plus remarquable que puissent donner des éclaircies bien dirigées est de fournir, *avec un capital*

(1) *Economie forestière*, 1 volume, 4e étude, page 171.

producteur moindre, un revenu supérieur en quantité à celui qu'on obtiendrait sans elles. On peut en effet admettre avec certitude qu'une éclaircie enlevant tous les 10 ans de 10 à 30 p. 100 du volume des peuplements n'entraînera pas, dans les conditions habituelles, de diminution dans la production totale; elle aura seulement pour effet d'augmenter l'importance relative du produit intermédiaire qui deviendra égal ou supérieur au produit principal. Un revenu en matière égal, souvent même plus grand, aura donc été obtenu avec un capital générateur notablement plus faible et le taux moyen de l'accroissement sera augmenté.

En l'absence de données certaines suffisamment complètes pour nous permettre de comparer la production de forêts éclaircies (système français) à celle de forêts non éclaircies, nous nous contenterons de reproduire ici quelques chiffres méritant confiance.

I

Les places d'essai installées par nous en 1892 dans la forêt domaniale de Celles (Vosges) ont montré qu'une sapinière, âgée de 80 ans au début des expériences, croissant en sol médiocre et dont la végétation était très ralentie, aucune éclaircie n'ayant été pratiquée jusqu'alors dans le massif, a produit, comme moyenne de 10 années consécutives :

	Place d'essai non éclaircie m. cubes	Place d'essai éclaircie (éclaircie modérée) m. cubes
Production totale par hectare et par an................	11.62	12.26
Taux moyen de production pendant les 10 années....	2.25 p. 100	3.14 p. 100

On voit que la production totale a été sensiblement supérieure dans la place d'essai éclaircie. Dans cette dernière, de plus, la production totale annuelle (celle incorporée au volume du peuplement principal plus les produits intermédiaires) est de 3 m.14 pour 100 mètres cubes de capital ligneux immobilisé, tandis que

dans la place non éclaircie cette production totale n'est que de 2.25 p. 100.

II

La station de recherches saxonne (1) a installé, en 1862, deux places d'essai (de 54 ares environ chacune) dans un peuplement d'épicéa provenant d'un semis par bandes effectué en 1822 sur un terrain jusque-là cultivé. Dans l'une des deux places, on ne fit que récolter les bois morts gisants, les chablis et les bris de neige, dans l'autre on pratiqua, à des intervalles réguliers de cinq ans, des éclaircies faibles, ne portant que sur les bois morts, chablis, etc., plus sur les tiges dominées et retardataires. La production des deux parcelles est donnée par les chiffres ci-dessous pour une période de 31 ans, de 1862 à 1893.

	Place d'essai non éclaircie m. cubes	Place d'essai éclaircie (éclaircie faible) m. cubes
Production en bois d'éclaircie plus bois morts, chablis, etc.	237.63	301.28
Accroissement de volume du peuplement principal	347.54	317.92
Production totale par hectare	585.17	619.20
Production totale par hectare et par an	18.70	19.97
Volume au début de l'expérience (1862)	349.64	354.66
Volume à la fin de l'expérience (1893)	697.18	672.92
Taux moyen de la production pendant les 31 années	3.6 p. 100	4.0 p. 100

(1) Ces renseignements sont extraits d'un mémoire publié par M. Kunze dans le 44e volume du *Tharander forstliches Jahrbuch*.

III

Nous avons mentionné déjà (1) deux places d'essai installées, en 1889, par la station de recherches suisse dans la forêt du Sihlwald, appartenant à la ville de Zürich, au canton de Bodenmatt. Le peuplement, d'épicéa, d'origine artificielle, était âgé de 28 ans à l'origine. Les conditions de station sont très bonnes. L'une des places d'essai n'a subi d'autre opération que l'extraction des bois morts, l'autre a été l'objet de coupes d'éclaircies d'intensité moyenne. Voici les chiffres de la production en dix ans.

	Place d'essai non éclaircie m. cubes	Place d'essai éclaircie (éclaircie moyenne). m. cubes
Produits d'éclaircie, bois morts.................... Chablis, bris de neige........	79	222
Accroissement de volume du peuplement principal...........	136	207
Production totale pendant les dix ans....................	215	429
Production moyenne par hectare et par an..................	21.5	42.9
Volume au début des expériences........................	400	285
Volume à la fin des expériences.	536	492
Taux moyen de la production pendant les dix années......	4.60 p. 100.	11.06 p. 100.

IV

L'effet de l'éclaircie paraît surtout considérable sur des peuplements jeunes et vigoureux, dans des stations très bonnes. Les chiffres ci-dessus, qui méritent toute confiance, sont assurément,

(1) Page 268. Voir, pour plus de détails, notre *Rapport sur la troisième réunion de l'Association internationale des stations de recherches forestières* publié dans le *Bulletin du Ministère de l'Agriculture*, vol. de 1901, fascic. I. (Paris, Imprimerie Nationale, 1901).

dans une certaine mesure, capables d'éclairer l'influence des éclaircies sur le rendement en matière d'une futaie pleine. On a dit avec raison qu'aucune autre question ne pouvait intéresser davantage les forestiers, que celle des éclaircies. Il faut regretter que ce chapitre de la science forestière en soit encore à peu près au point où l'a laissé Varenne de Fenille il y a plus d'un siècle et souhaiter que les travaux des stations de recherches se portent de plus en plus sur ce point capital de la science forestière.

CHAPITRE IV

LA FORMATION DE LA VALEUR DES ARBRES OU PEUPLEMENTS

SOMMAIRE

§ 1. — Le prix unitaire dans un arbre ou un peuplement.

§ 2. — Augmentation du prix du mètre cube avec le diamètre.

Proportionnalité fréquente du prix du mètre cube au diamètre des grumes.
Restriction à l'augmentation du prix du mètre cube avec le diamètre.
Exceptions à cette augmentation.

§ 3. — Variation, avec l'âge des arbres ou des peuplements, de la proportion, au volume total, de celui des différentes catégories de marchandises.

I. — **Ecorce.** — Volume relatif. Influence de l'âge, des conditions de végétation.

II. — **Bois fort et menu-bois.** — Décroissance du volume relatif des menus bois dans les arbres et les peuplements. Volume à l'hectare du menu-bois.

Accroissements du bois fort. Taux d'accroissement. Production en bois de *n* décimètres de tour.

III. — **Catégories de marchandises diverses.** — Importance de diverses catégories aux différents âges dans des peuplements de pin sylvestre, de sapin, d'épicéa. Proportion de ces catégories dans le produit intermédiaire.

§ 4. — Evolution de la valeur des arbres ou peuplements.

Hypothèses à faire dans l'étude de la valeur.
Exemples numériques de l'évolution de la valeur de divers peuplements.
Accroissements de la valeur. Ils culminent plus tard que ceux du volume.
Le taux d'accroissement de la valeur est toujours supérieur à celui du volume.

§ 5. — Production en argent.

§ 1. — *Le prix unitaire dans un arbre ou un peuplement.*

L'augmentation, avec le temps, de la valeur d'un arbre ou d'un peuplement sur pied tient à deux causes qui s'ajoutent :

1° Avec le temps le volume augmente;

2° A mesure que l'arbre ou le peuplement vieillit, le prix de son unité de volume que nous appellerons souvent, par abréviation, son *prix unitaire*, va en augmentant.

Dans les chapitres précédents, nous avons parlé de la croissance du volume avec le temps.

Il nous reste, dans ce chapitre, à examiner comment varie, avec l'âge d'un arbre ou d'un peuplement, la valeur de l'unité de son volume ou son prix unitaire.

L'augmentation de la valeur de l'unité de volume dans un arbre ou un peuplement sur pied tient à deux causes qu'il importe de distinguer :

1° Avec le temps le diamètre de toutes les parties de l'arbre va en augmentant d'une façon continuelle. L'augmentation du diamètre entraîne celle du prix de l'unité de volume;

2° Avec le temps la proportion, au volume total, des marchandises de fort diamètre, qui sont les plus précieuses, va constamment en augmentant.

L'augmentation de la valeur du mètre cube avec le diamètre des pièces dépend de causes du domaine technologique, elle supporte des restrictions et des exceptions tenant au fait de l'homme : à l'état des marchés et au débouché des produits.

L'augmentation du volume relatif des catégories de marchandises les plus précieuses tient à des causes naturelles qui ne dépendent ni de l'état du marché des bois ni de l'utilisation plus ou moins facile des produits de la forêt. Il en résulte que, dans tous les cas, **le prix unitaire va nécessairement en augmentant avec l'âge dans un arbre ou un peuplement.**

§ 2. — *Augmentation du prix du mètre cube avec l'âge ou le diamètre.*

La valeur d'une pièce de bois ne dépend pas seulement de son volume. Le prix du mètre cube d'une même essence varie avec la dimension des pièces. C'est ainsi que deux grumes de

chêne cubant chacune 4 mètres cubes auront ensemble, toutes choses égales d'ailleurs, une valeur moindre qu'une seule pièce de 8 mètres cubes. La longueur et le diamètre des échantillons entrent comme facteurs dans cette plus-value; mais c'est surtout avec le diamètre que le prix du mètre cube augmente.

Nous n'avons pas à en détailler les raisons qui sont du ressort de la technologie forestière. Nous n'avons qu'à présenter ici les faits tels qu'ils résultent de l'état actuel du marché des bois.

Tous les bois *sur pied*, *en forêt* (nous considérons toujours les valeurs nettes, c'est-à-dire celle des bois dans l'arbre), ont une valeur minime ou même nulle lorsqu'ils se présentent sous des diamètres trop faibles pour qu'on puisse les empiler comme rondins. La limite à partir de laquelle le bois sur pied commence à prendre de la valeur est souvent de deux décimètres de tour (1); c'est cette dimension qui a été adoptée par les stations de recherches forestières de tous les pays pour distinguer les *menus-bois* ou *ramiers* du *bois fort* ayant plus de deux décimètres de tour.

Ce dernier se divise en deux catégories : le bois de feu et le bois d'œuvre. Il est impossible d'établir une démarcation précise entre les bois de feu et les bois d'œuvre : dans certains pays on emploie au chauffage les plus beaux hêtres, tandis que dans d'autres on convertit en traverses pour tramways ou en copeaux à tanin jusqu'aux ramifications des cimes des chênes et en pâte de bois jusqu'aux petits rondins de pin. Nous supposerons toujours que, dans un arbre ou un peuplement, on débite en bois d'œuvre tout ce qui, étant donnés les usages locaux, peut en fournir et qu'on n'emploie comme bois de feu que les morceaux de trop petite dimension ou de trop mauvaise qualité pour pouvoir être autrement utilisés.

D'une façon très générale on peut dire que la valeur des bois à l'unité de volume augmente constamment avec leur diamètre. Cela est surtout vrai dans les forêts bien dotées en voies de

(1) C'est le chiffre inscrit dans le Code forestier français de 1827, articles 192-194.

vidange et dans les régions bien outillées en instruments de débit. Dans ces conditions, on voit souvent la valeur d'un mètre cube de bois croître proportionnellement au diamètre et même plus rapidement encore lorsqu'il s'agit de pièces de très fort calibre. C'est ainsi qu'un chêne de 0 m. 80 de diamètre pourra valoir 64 fr. le mètre cube; un autre de 1^{m},20, 110 fr. le mètre cube, et un autre encore de 1^{m},50, 180 fr. ou davantage (1). Il faut cependant reconnaître que cette loi générale de l'augmentation du prix avec le diamètre comporte des restrictions et des exceptions.

Restriction à l'augmentation du prix du mètre cube avec le diamètre. — Nous avons déjà fait remarquer qu'il peut arriver que le débit ou le transport des gros bois soit trop difficile dans une région pour que les très fortes pièces y soient recherchées; c'est là un fait accidentel tenant à des causes qui peuvent disparaître et dont nous ne nous occuperons pas, mais il y a une restriction d'un ordre plus général à faire.

Les essences à bois très précieux; celles qu'on a un grand bénéfice à débiter sur maille ou, d'une façon générale, à débiter suivant des modes donnant beaucoup de déchet; celles dont les débits et les emplois sont très variés, qui ont de l'aubier et une écorce épaisse ont des prix croissant indéfiniment avec le diamètre, sans aucune limite. Tels sont, en toute première ligne, le chêne, et, dans une moindre mesure, l'orme champêtre, le pin sylvestre, le mélèze, etc.

Les bois de peu de valeur, qui de plus n'ont pas d'aubier et ne fournissent qu'un petit nombre de catégories de marchandises quelle que soit leur dimension (2), peuvent présenter une limite

(1) Nous pouvons indiquer ici de très bonne source que cette façon d'estimer les beaux chênes *au centimètre*, c'est-à-dire d'attribuer au mètre cube une valeur proportionnelle au diamètre des grumes, est pratiquée depuis cinquante ans au moins dans certaines forêts d'Alsace. M. Roulleau, *Revue des Eaux et Forêts*, 1902 et 1905, nous apprend que, dans la forêt de Bercé (Sarthe), les très beaux chênes valent 1 fr. 30 au centimètre médian, c'est-à-dire que, si les grumes ont un diamètre médian de 0m.60 elles valent 60 $\times$ 1,3 = 78 fr. le mètre cube; si ce diamètre est de 0m.70 elles en valent 70 $\times$ 1.3 = 91 fr. Les bois de qualité moyenne, dans cette forêt, valent 1 fr. 00 le centimètre, les médiocres 0 fr. 45 à 0 fr. 50.

(2) Dans certains régions tous les sapins, les plus gros comme les autres, sont

à partir de laquelle la valeur du mètre cube cesse de croître avec le diamètre. Tels sont le hêtre, le sapin, l'épicéa, etc.

Exceptions à l'augmentation du prix avec le diamètre. — La loi de l'augmentation du prix du mètre cube avec le diamètre comporte aussi des exceptions. La valeur du bois peut passer par un maximum tenant à des utilisations spéciales. Citons le cas de perches de sapin ou d'épicéa de 7 à 12 centimètres de diamètre à hauteur d'homme et de 8 à 12 mètres environ de longueur qui sont très recherchées dans certaines régions pour faire des perches à houblon, qui valent jusqu'à 125 fr. le cent dans les pays de houblonnières. Le prix de ces bois peut atteindre dans ces conditions 12 à 14 fr. le mètre cube en forêt, tandis que des bois un peu plus forts ne donnent plus que de la menue charpente dont le prix peut être moindre. De même, il peut arriver que les pins sylvestres propres à fournir des étais de mine aient autant ou même plus de valeur, au voisinage des houillères, que ceux d'un diamètre un peu plus fort. Cependant, même dans ce cas, la relation générale entre la croissance du diamètre et de la valeur n'est pas altérée; celle-ci recommence à croître avec le diamètre après avoir passé par un maximum dont l'effet ne se fait sentir que peu d'années.

§ 3. — *Variation, avec l'âge des arbres ou des peuplements, de la proportion, au volume total, de celui de différentes catégories de marchandises.*

I. — **Ecorce.** — L'écorce est, dans beaucoup de cas, un déchet pur et simple, sans valeur. Dans d'autres cas, elle constitue, au contraire, le produit le plus intéressant, comme dans les taillis à écorces ou les forêts de chêne-liège. Il est vrai que, dans ces

invariablement débités en planches de 4m. de longueur et 0m.25 de largeur par des traits de scie parallèles entre eux. Dans ces conditions, il n'y a pas le même intérêt à débiter des gros bois que si l'on sciait *sur maille*, c'est-à-dire dans la direction du rayon, ce qui donnerait des planches d'une qualité bien supérieure. Lorsque les consommateurs, plus éclairés, feront une différence entre les planches *sur maille* et les autres les gros sapins, de 0m.60 de diamètre et au delà, prendront une plus-value notable par rapport aux bois moyens.

dernières, la récolte de l'écorce ne se fait pas en même temps que celle du bois; il n'y a donc pas d'intérêt à connaître son volume relatif, et nous n'en dirons rien ici.

L'écorce s'accroît avec l'âge. C'est dire que, toutes choses égales d'ailleurs, de deux arbres d'âges différents, c'est le plus âgé qui aura l'écorce la plus épaisse et, dans le même arbre, l'épaisseur de l'écorce sera la plus grande au pied du fût et la plus faible à l'extrémité des jeunes pousses. Cette décroissance d'épaisseur de l'écorce du bas au sommet de l'arbre ne paraît pas, du reste, être entièrement régulière (1). Elle est assez peu marquée le long du tronc chez les hêtres, épicéas, sapins qui n'ont pas encore dépassé l'âge moyen, tandis qu'elle l'est beaucoup plus chez les pins et les mélèzes.

Dans les stations médiocres ou mauvaises, l'écorce est non seulement d'une façon relative, mais encore d'une façon absolue notablement plus épaisse que lorsque la végétation est rapide. Cette influence des conditions de végétation prime de beaucoup celle de l'âge et peut la masquer.

Enfin certaines essences, les pins, mélèzes, chênes, ont naturellement une écorce qui peut atteindre des épaisseurs considérables dans la région inférieure des fûts tandis que d'autres, comme le hêtre, gardent l'écorce mince et lisse, même à des âges avancés (2).

On a fait un assez grand nombre de déterminations du volume relatif de l'écorce des grumes. La question a pris de l'impor-

(1) Voir un mémoire de M. Flury, inséré dans le V[e] volume des *Mitteilungen* de la station de recherches suisse.

(2) De très vieux mélèzes, âgés de 400 ans, peuvent présenter à hauteur d'homme une épaisseur d'écorce de 10 à 12 centimètres et plus, de sorte que des arbres de 1 mètre de diamètre peuvent n'avoir que 0m.75 à 0m.80 de bois. Sur un pin maritime de 0 m.60 de diamètre nous avons relevé une épaisseur d'écorce de 5 centim. de sorte que le diamètre du bois n'était que de 0m.50. Chez le pin sylvestre l'épaisseur de l'écorce (sur le rayon à hauteur d'homme) peut atteindre 6 ou 7 centimètres ou davantage. Chez le hêtre et l'épicéa elle est ordinairement inférieure à un, au plus à deux centimètres, chez le sapin elle est un peu plus forte, chez le chêne encore davantage (jusqu'à 4 ou 5 centimètres sur le rayon, à hauteur d'homme, dans le cas d'arbres très âgés et à végétation lente). Ces chiffres, que nous donnons simplement à titre d'exemples, d'après des mensurations effectuées sur des échantillons appartenant aux collections de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts n'ont nullement la valeur de moyennes.

tance dans certains pays comme la Suisse et quelques Etats allemands, depuis qu'on a pris l'habitude de vendre les grumes écorce déduite (on annèle les pièces au point où l'on mesure le diamètre avant de faire le cubage), tandis que les bois sur pied sont nécessairement cubés, écorce comprise, lors des opérations d'aménagement.

Si l'on considère les tiges jusqu'à 0 m. 20 de tour au fin bout on constate, d'après M. Flury, que l'écorce représente, en tant pour cent du volume total écorce comprise :

8.3	à	12.3	p. 100	chez le sapin (1)
7.4	à	14.9	—	chez l'épicéa
10.1	à	16.8	—	chez le pin sylvestre (2).
17.0	à	21.9	—	chez le mélèze (2).
5.4	à	9.9	—	chez le hêtre.

Ce taux est, toutes choses égales d'ailleurs, moindre chez les gros arbres : il diminue avec le diamètre. Pour un même diamètre il augmente à mesure que la hauteur totale des arbres diminue, c'est-à-dire que les conditions de station sont moins favorables. C'est ainsi que, pour des épicéas de 0 m. 40 de diamètre à hauteur d'homme, le volume relatif de l'écorce est de 8 p. 100 environ pour des arbres de 35 à 40 mètres de hauteur totale et s'élève au delà de 11 p. 100 pour des arbres de 20 à 25 mètres.

On admet que le tronc des chênes présente, en écorce, un volume de 15 à 20 p. 100 du volume total du tronc, écorce comprise.

Les chiffres suivants, empruntés à M. Weber, indiquent le poids de l'écorce pour 100 parties de bois dans des chênes de différents diamètres (3).

(1) D'après la station de recherches badoise la proportion du volume en écorce atteindrait 17 à 20 p. 100 chez de vieux sapins ayant poussé dans de mauvaises conditions de station.

(2) Les pins et mélèzes mesurés par M. Flury (de la station de recherches suisse) étaient des arbres de petites dimensions et jeunes. Les taux d'écorce sont donc plutôt un peu faibles.

(3) *Lehrbuch der Forsteinrichtung* (Berlin, chez Springer, 1891).

	Diamètres en centimètres.										
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40
Chêne à écorce lisse et croissance rapide...	23	21	19	18	17	14	12	10	8	6	5 p. 100
Chêne à écorce épaisse et fissurée......	31	29	28	25	22	18	15	12	10	8	6 —

D'après M. Schuberg (1), les jeunes chênes présentent :

Brins de semence.	120 kilog. d'écorce sèche par mètre cube de bois à	10 ans.
	111,5 — —	20 —
Rejets de souche..	106 — —	12 —
	67 à 102 — —	12 à 17 —

et les baliveaux de 28 à 35 ans, 81 kilogrammes d'écorce par mètre cube de bois.

II. — **Bois fort et menu bois.** — Si nous considérons un arbre individuellement, nous voyons que le rapport du volume de son menu bois au volume total va en diminuant rapidement avec le diamètre dans le jeune âge jusqu'à un moment à partir duquel il reste à peu près constant. Pour un même diamètre la proportion du menu bois est d'autant plus faible que l'arbre est plus élevé, et pour une même hauteur elle va légèrement en augmentant avec le diamètre aux âges avancés.

Le tableau ci-après donnera une idée du volume relatif du menu bois chez des sapins de différentes hauteurs ayant crû en massif de futaie serré non éclairci (voir ce tableau page 286).

Si au lieu d'arbres nous considérons des peuplements, nous voyons que, dans un peuplement, le *volume absolu* des menus bois va en augmentant assez rapidement dans les premières années, puis il passe par un maximum d'assez bonne heure, après lequel il diminue très légèrement pendant quelque temps pour finir par rester constant (2). On constate de plus que ce volume

(1) De la station de recherches de Karlsruhe.

(2) Ce fait est connu depuis longtemps en France. Dans le procès-verbal d'aménagement de la forêt de Bellême, daté de 1858, on calcule le volume de la cime d'un chêne dans un peuplement de densité moyenne et on admet que ce volume est inversement proportionnel, d'un peuplement à l'autre, au nombre des tiges. Cela revient à admettre que le volume total des cimes est constant pour un hectare. Voir aussi ci-après fig. 118.

Rapport du volume du menu bois au volume total de l'arbre chez des sapins dans la Forêt-Noire.

HAUTEUR des arbres	VOLUME du menu bois pour 100 m. cubes du volume total	HAUTEUR des arbres	VOLUME du menu bois pour 100 m. cubes du volume total	HAUTEUR des arbres	VOLUME du menu bois pour 100 m. cubes du volume total	HAUTEUR des arbres	VOLUME du menu bois pour 100 m. cub. du volume total
mètres	m. cubes	mètres	m. cubes	mètres	m. cubes	mètres	m. cub.
7	63	16	18	25	13.1	34	11.2
8	55	17	17	26	12.8	35	10.9
9	45	18	16	27	12.6	36	10.6
10	36	19	15	28	12.5	37	10.5
11	31	20	15	29	12.4	38	10.3
12	26	21	14.0	30	12.2	39	9.8
13	23	22	13.9	31	11.9	40	8.4
14	21	23	13.6	32	11.7		
15	19	24	13.3	33	11.5		

varie moins avec les conditions de végétation et d'une essence à l'autre qu'on pourrait le supposer *a priori*. En voici des exemples sous forme de tableaux ; on pourra aussi se rendre compte de ces faits en examinant les figures nos 115 à 118.

Volume du menu bois à l'hectare dans des peuplements de diverses essences.

AGES	SAPIN (d'après M. Schuberg) Classes de station :			ÉPICÉA (d'apr. M. Schwappach) Classes de station :			PIN SYLVESTRE (d'apr. M. Schwappach) Classes de station :			HÊTRE (d'après M. von Baur) Classes de station :		
	I	III	V	I	III	V	I	III	V	I	III	V
ans	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.
20	70	»	»	126	100	43	87	70	35	64	40	17
30	136	107	40	131	136	77	84	74	44	99	63	38
40	138	130	86	126	125	94	70	65	47	110	66	54
50	132	115	108	118	108	98	65	57	43	91	54	54
60	124	105	90	110	98	86	63	50	42	68	42	51
70	115	103	85	105	94	78	61	47	41	73	42	50
80	112	101	85	102	92	75	59	47	41	89	44	43
90	111	103	87	102	91	76	57	47	40	100	49	33
100	111	105	89	103	93	76	57	47	40	110	56	29
110	112	106	92	103	94	»	57	47	»	117	64	34
120	114	108	95	103	95	»	57	47	»	124	74	39
130	117	111	97	»	»	»	57	»	»	»	»	»
140	120	113	100	»	»	»	57	»	»	»	»	»
150	122	116	102	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Le volume absolu du menu bois restant constant ou, tout au moins, ne s'accroissant plus que très faiblement dans les peuplements adultes, il en résulte naturellement que le *volume relatif* de ces bois diminue rapidement avec l'âge.

La station de recherches badoise publie les chiffres suivants pour le sapin :

Proportion du menu bois dans le volume total d'un peuplement.

AGES	CONDITIONS DE STATION	
	bonnes	moyennes
ans	0/0	0/0
40	43	55
60	18.5	22
80	14	15.5
100	13	14
120	12.5	13

La fig. 122, établie d'après la station de recherches suisse, donne un renseignement analogue pour des peuplements de hêtre et d'épicéa croissant en massif serré non éclairci.

Les conséquences de cette marche du développement du volume des menus bois sont nombreuses; nous allons examiner les principales.

1° *Accroissements annuels et moyens du bois fort.* — Si, au lieu de considérer le volume total dans un arbre ou un peuplement, nous ne considérons que le volume du bois de 0 m. 2 de tour et plus, nous voyons les accroissements de cette partie du volume culminer notablement plus tard que ceux du volume total (voir les figures 113 et 114).

Cela s'explique facilement par ce fait que la production de bois fort, pendant une année, n'est pas due seulement à l'accroissement du bois fort déjà existant au début de l'année, mais encore à ce qu'une certaine quantité de menu bois, dont la circonférence était peu au-dessous de 0 m. 20, acquiert cette dimension pendant la saison de végétation.

On peut, du reste, dire d'une façon générale que, *dans un arbre ou un peuplement, si on ne considère que le bois de* n *décimètres de tour et plus, les accroissements de cette partie du volume culmineront d'autant plus tard que* n *sera plus grand.*

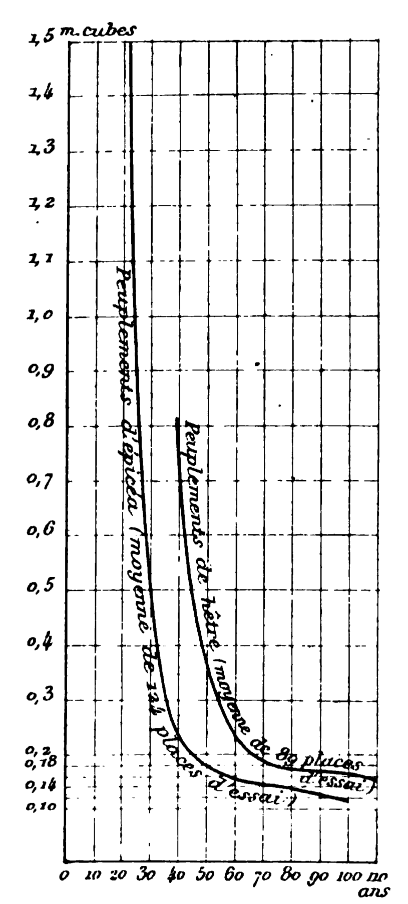


Fig. 112. — Volume, en mètres cubes, du menu bois pour un mètre cube de bois fort dans des peuplements de hêtre et d'épicéa de différents âges (d'après M. Flury).

2° *Taux d'accroissement du volume du bois fort.* — Ce taux est, à tous les âges, plus élevé que le taux d'accroissement du volume total, mais la différence entre les deux taux va en diminuant quand l'âge augmente, ce qui résulte naturellement de ce que l'importance du menu bois devient de plus en plus petite.

3° *Production en bois fort.* — La production totale annuelle (produits principaux et intermédiaires réunis) en bois fort présente son maximum plus tard que la production totale en bois de toute catégorie, car, dans les produits intermédiaires aussi, le rendement en bois fort continue à croître plus longtemps que le rendement total.

La production moyenne étant liée par une relation que nous connaissons à la production annuelle, nous pouvons déduire de ce qui précède qu'elle aussi culminera plus tard pour le bois fort que pour le volume total. Lorsque, dans une forêt, nous voulons obtenir le maximum du rendement en matière, produits

principaux et intermédiaires compris (mais en limitant ces derniers au peuplement accessoire), ce n'est guère au-dessous de

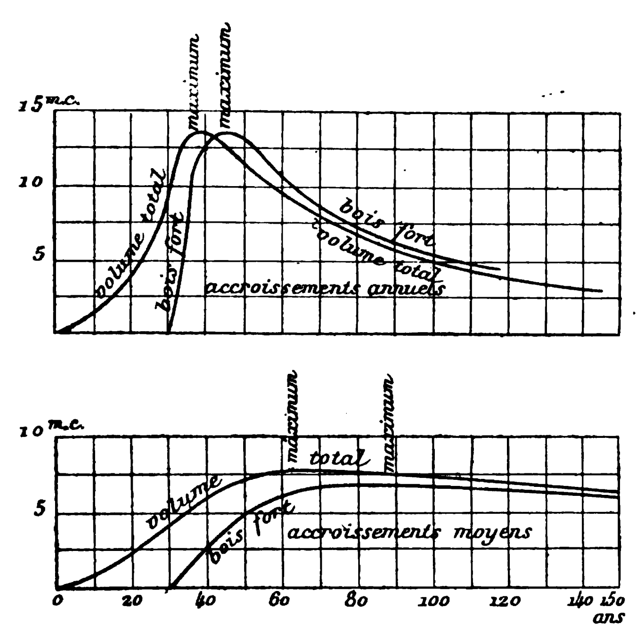


Fig. 113. — Fig. 114. — Accroissements comparés du bois fort et du volume total dans un peuplement de sapins, conditions de végétation moyennes (d'après Schuberg).

110 à 120 ans, pour le sapin, l'épicéa et le hêtre, de 75 ans pour le pin sylvestre, qu'il faudra fixer l'âge d'exploitation, *si nous ne tenons compte, dans le rendement, que des bois de plus de 0 m. 2 de tour.*

Remarquons, ici encore, que cette règle est générale. *Si nous ne tenons compte, dans le rendement total, que des bois de* n *décimètres de tour et au-dessus, l'âge d'exploitation correspondant au maximum du rendement de la forêt aménagée sera d'autant plus avancé que* n *sera plus grand.*

III. — **Catégories de marchandises diverses.** — La classification des marchandises que l'on peut tirer d'un arbre varie pour ainsi dire à l'infini suivant les usages locaux. Nous nous contenterons d'indiquer ici la classification adoptée en Prusse et

celle suivie dans le grand-duché de Bade afin de rendre intelligibles les tableaux qui vont suivre.

En Prusse (1) on distingue les bois d'œuvre :

En grumes lorsqu'ils ont plus de 0 m. 14 de diamètre à 1 mètre du gros bout et au moins 0 m. 07 au petit bout.

En perches bois fort lorsqu'ils ont de 0 m. 07 à 0 m. 14 de diamètre à 1 mètre du gros bout.

En perches menu bois lorsqu'ils ont moins de 0 m. 07 de diamètre à 1 m. du gros bout.

En quartiers et en écorces lorsque celles-ci sont récoltées séparément.

Les grumes sont divisées en 5 classes :

1re classe, bois de plus de 3 mètres cubes.
2e classe, bois de 2 à 3 mètres cubes.
3e classe, bois de 1 à 2 mètres cubes.
4e classe, bois de 0 mc. 51 à 1 mètre cube.
5e classe, bois de moins de 0 mc.51.

On distingue souvent sous le nom de tronces de sciage des pièces ayant 0 m. 30 ou plus de diamètre au petit bout et au moins 3 mètres de long.

Les bois de chauffage sont refendus à partir de 0 m. 14 de diamètre au petit bout et forment le bois de quartier. Les rondins ont de 0 m. 07 à 0 m. 14 de diamètre au petit bout.

Tous les volumes sont exprimés en mètres cubes, en stères ou en cents de fagots de 1 mètre de long et 1 mètre de tour.

Dans le grand-duché de Bade, on classe les sapins de la manière suivante :

Ire classe, grumes de 18 mètres de longueur et plus, et de 0 m. 30 et plus de diamètre au petit bout.
IIe classe, grumes de 18 mètres de longueur et plus, et de 0 m. 22 et plus de diamètre au petit bout.
IIIe classe, grumes de 16 mètres de longueur et plus, et de 0 m. 17 et plus de diamètre au petit bout.
IVe classe, grumes de 8 mètres de longueur et plus, et de 0 m. 14 et plus de diamètre au petit bout.

et enfin la Ve classe qui comprend tous les bois plus faibles, mais ayant au moins 0 m. 14 de diamètre à 1 mètre du gros bout.

(1) Instruction du 1er octobre 1875.

Cela étant entendu, nous pouvons maintenant donner les résultats publiés par les stations de recherches pour le sapin (classification badoise) et l'épicéa (classification prussienne).

Les chiffres ci-dessous expriment le volume des différentes catégories de marchandises qu'on trouve dans 100 mètres cubes du volume total des peuplements d'après M. Eichhorn (de la station de recherches badoise).

Volume de différentes catégories de marchandises pour 100 mètres cubes du volume total dans des peuplements de sapin non éclaircis.

NATURE des marchandises	CONDITIONS DE VÉGÉTATION													
	bonnes							moyennes						
	Ages des peuplements (années)							Ages des peuplements (années)						
	60	70	80	90	100	110	120	60	70	80	90	100	110	120
Perches bois fort (écorce comprise)	7	2	»	»	»	»	»	18	7	2	»	»	»	»
Bois d'œuvre écorcé. Ve classe	15	6	2	»	»	»	»	22	18	11	6	2	»	»
IVe id.	35	39	34	24	14	8	3	24	39	48	47	40	29	18
IIIe id.	8	17	26	33	34	29	23	1	3	6	14	23	31	31
IIe id.	»	2	5	10	18	25	30	»	»	»	»	2	8	18
Ie id.	»	»	»	»	2	6	13	»	»	»	»	»	»	1
Ecorce des bois d'œuvre	8	9	9	10	10	10	10	7	8	9	10	10	10	10
Bois de feu. quartier	1	2	4	5	6	7	7	»	»	»	2	3	4	4
rondin	7	7	5	4	3	2	2	6	7	8	7	6	5	5
Perches menu bois	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Chauffage menu bois	19	16	15	14	13	13	12	21	18	16	14	14	13	13

La figure 115 représente d'après M. Schwappach, de la station de recherches prussienne (1), le développement du volume d'un peuplement d'épicéa. La ligne la plus élevée retrace le développement du volume total, et la plus basse celui des bois de moins de deux décimètres de tour.

L'aire comprise entre ces deux lignes est divisée en six zones correspondant aux cinq classes de grumes et aux perches. Les

(1) *Wachstum... normaler Fichtenbestände*. Berlin, chez Springer, 1890.

longueurs d'ordonnées comprises dans chaque zone représentent, à l'échelle des ordonnées (à gauche de la figure), le volume,

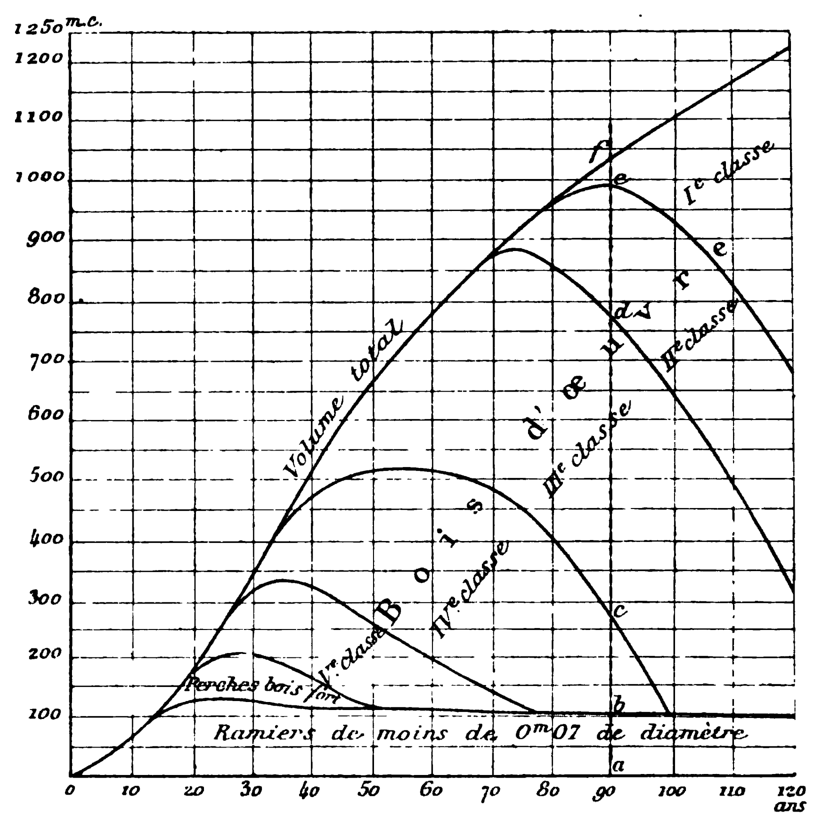


Fig. 115. — Répartition du volume total d'un peuplement d'épicéas, croissant dans des conditions de végétation très bonnes, en différentes catégories de marchandises (montagnes de l'Allemagne centrale).

dans le peuplement, des bois dont cette zone porte le nom. Ainsi, à l'âge de 90 ans, le volume total sera mesuré par *af;* celui des menus bois par *ab;* celui des grumes de 4e classe, par *bc;* celui des grumes de 3e classe, par *cd*, etc.

La figure 116 donne les mêmes renseignements avec un autre dispositif. Les ordonnées sont proportionnelles aux volumes des différentes catégories de marchandises fournies par un peuplement à différents âges; on y voit nettement comment, à

mesure que le peuplement vieillit, l'importance des bois de

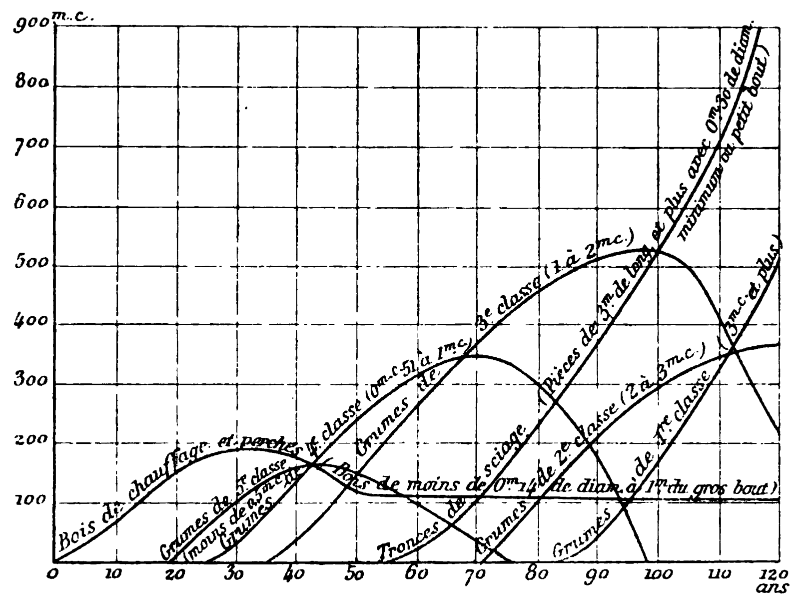


Fig. 116. — Variations, avec l'âge, du volume des différentes catégories de marchandises formant le peuplement principal d'une futaie d'épicéas croissant dans des conditions favorables (Allemagne du Nord).

catégories inférieures diminue, tandis que celle des grumes de 1re classe augmente constamment et de plus en plus rapidement.

La figure 117 est construite d'après le même principe que la figure 115. Elle représente la composition à divers âges, en différentes catégories de marchandises, d'un peuplement de sapin non éclairci croissant dans de bonnes conditions de station. Ses données sont empruntées aux dernières tables publiées par la station de recherches badoise.

La figure 118 donne le même renseignement pour un peuplement de pin sylvestre *normalement éclairci* croissant en plaine dans la vallée du Rhin, en Basse Alsace, sur sol fertile et profond. Nous l'avons construite au moyen de données rassemblées en 1842 par les aménagistes de la forêt de Hagueneau complétées par de nombreuses notes personnelles. Nous avons notamment dû modifier la classification des différentes catégories

de marchandises (1) pour tenir compte des nouveaux emplois qui ont surgi pour les pins de petite dimension (traverses de chemin

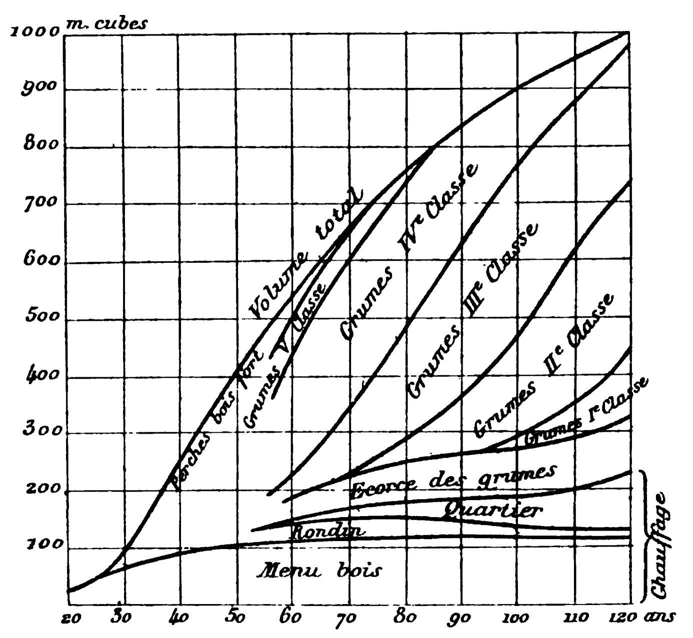


Fig. 117. — Répartition du volume total d'un peuplement de sapins en diverses catégories de marchandises.

de fer, étais de mine, etc.) qui étaient en grande partie inconnus en 1842. Nous avons admis les chiffres donnés par le tableau ci-après :

(1) Les bois d'œuvre de 4e classe du tableau sont des perches, étais de mine, etc. Ceux de 3e classe sont principalement des bois propres au débit en traverses de chemins de fer et en petite charpente. Les bois d'œuvre de 1re classe sont formés de grumes propres au sciage mesurant au moins 0 m. 50 de diamètre. Dans beaucoup de pays, où les étais de mine sont recherchés, on débite en étais de seconde qualité la plus grande partie, parfois presque la totalité des bois que nous avons dénommés « bois de corde » ; ailleurs on les emploie également comme bois d'œuvre pour la fabrication de la pâte à papier.

Volume des différentes catégories de marchandises dans un peuplement de pins sylvestres normalement éclairci, en sol fertile et profond (plaines de la Basse-Alsace).

AGES	CATÉGORIES DE MARCHANDISES						VOLUME total
	Fagots	Bois de corde	Bois d'œuvre				
			4e classe	3e classe	2e classe	1re classe	
ans	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes	m. cubes
20	80	»	»	»	»	»	80
30	90	60	30	»	»	»	180
40	80	120	120	»	»	»	320
60	50	160	140	110	»	»	460
80	40	150	40	160	120	10	520
100	40	120	»	110	200	80	550
120	40	100	»	70	140	180	530

Les données de ce paragraphe suffiront pour démontrer, avec netteté et certitude, la légitimité des conclusions du § 1, où nous affirmions que, dans un peuplement qui vieillit, le prix unitaire (du mètre cube du volume total) va toujours en augmentant parce que la proportion, dans le volume total, des catégories de marchandises les plus précieuses ne cesse d'aller en croissant.

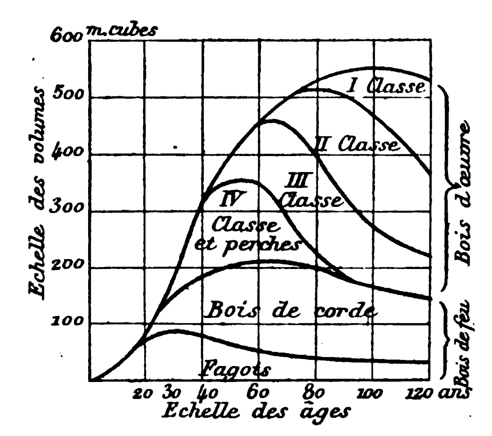


Fig. 118. — Répartition du volume total d'un peuplement de pins sylvestres *éclairci* en diverses catégories de marchandises.

Voici enfin quelques renseignements, empruntés à la dernière publication de la station de recherches badoise, sur la répartition des différentes catégories de marchandises dans le produit intermédiaire que fournit un peuplement de sapin dans des con-

ditions moyennes. Nous rappelons ici expressément une fois de plus qu'il s'agit de peuplements non éclaircis : la production intermédiaire résulte uniquement de la réalisation des bois morts et dominés (1).

Volumes, pour cent mètres cubes du volume total réalisé en produits intermédiaires à différents âges, de différentes catégories de marchandises. (Sapin, conditions de végétation moyennes.)

CATÉGORIES des Marchandises		AGES DES PEUPLEMENTS								
		35	45	55	65	75	85	95	105	115
		m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.
Echalas et tuteurs		40	12	2	»	»	»	»	»	»
Perches à houblon.	4e qualité	»	23	5	»	»	»	»	»	»
	3e qualité	»	19	9	2	»	»	»	»	»
	2e qualité	»	10	12	3	»	»	»	»	»
	1re qualité	»	5	32	10	3	»	»	»	»
Perches pour échafaudages (écorcées)		»	»	15	40	29	13	4	1	»
Bois de sciage	5e classe	»	»	2	15	25	31	25	14	5
	4e classe	»	»	»	1	10	21	37	54	66
	3e classe	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	2e classe	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	1re classe	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Ecorce des bois de sciage et perches d'échafaudage		»	»	3	8	9	9	9	10	10
Bois de feu.	bois fort	»	1	3	6	10	14	14	11	10
	menu bois	60	30	17	15	14	12	11	10	9

§ 4. — *Evolution de la valeur des arbres ou peuplements. Accroissements annuels, moyens, taux d'accroissement.*

En appliquant à une série de données, comme celles rassemblées dans le paragraphe précédent, les prix locaux et momentanés des différentes catégories de marchandises, on peut arriver à établir, pour un temps et un lieu donnés, la valeur des peuplements de différents âges. Si l'on admet que ces prix sont im-

(1) Cependant, dans les sapinières, la nécessité où l'on se trouve d'extraire les bois chaudronnés donne, même dans la Forêt Noire, un caractère un peu plus intensif aux éclaircies allemandes.

muables avec le temps, on pourra obtenir de même la suite des valeurs successives d'un peuplement dont l'âge augmente.

Il ne sera pas inutile de rappeler que si les lois naturelles interviennent seules dans les accroissements de la hauteur, du diamètre, du volume, etc., des arbres il n'en est plus de même pour le développement de la valeur (1). Certains facteurs seulement, tels que le volume, et, dans une certaine mesure, la répartition du volume en différentes catégories de marchandises, dépendent de l'action de la nature. D'autres, très importants, les prix des différentes catégories de marchandises, se combinent avec les précédents pour fixer la valeur. Ces prix ne peuvent avoir d'exactitude que pour une époque et un lieu donnés, ils dépendent du rapport de l'offre à la demande, de la production à la consommation qui est le régulateur de tous les prix et dont nous n'avons pas à parler ici.

Tout ce qui va suivre ne peut donc être considéré comme vrai que dans les milieux et le temps où nous nous serons placés, c'est-à-dire dans les forêts où les bois se débitent comme nous l'avons supposé et où les différentes catégories de marchandises ont les prix que nous leur avons attribués. Une modification des conditions du marché peut les altérer plus ou moins sensiblement.

Si nous appliquons aux données présentées par le tableau de la page 295 les prix actuels (2) des différentes catégories de marchandises, nous obtenons les résultats suivants pour la valeur d'un peuplement normalement éclairci de pins sylvestres croissant, en bon sol, dans la plaine de la Basse-Alsace :

(1) Cette valeur est celle que nous désignerons sous le nom de *valeur de consommation* dans l'étude qui sera consacrée aux estimations et expertises forestières. C'est celle qu'ont des bois vivants, mais dans l'hypothèse qu'ils vont être abattus immédiatement et portés sur le marché.

(2) Nous avons admis les prix suivants au mètre cube : fagots 4 fr., bois de corde 8 fr., bois d'œuvre 4e classe 12 fr., 3e classe 24 fr., 2e classe 34 fr., 1re classe 40 fr.

Age du peuplement.	Valeur en argent
20 ans	320 francs.
30 —	1.200 —
40 —	2.620 —
60 —	5.800 —
80 —	10.160 —
100 —	13.760 —
120 —	14.600 —

Les dernières publications des stations de recherches forestières contiennent des renseignements analogues sur la valeur de peuplements de différents âges. En voici un exemple emprunté à la station prussienne; il s'agit d'un peuplement d'épicéa éclairci croissant dans des conditions de stations bonnes (1).

Age du peuplement.	Valeur en argent.
20 ans	97 francs.
30 —	704 —
40 —	2.155 —
50 —	4.575 —
60 —	6.768 —
70 —	10.043 —
80 —	12.155 —
90 —	13.651 —
100 —	14.791 —
110 —	15.751 —
120 —	16.319 —

Les accroissements périodiques de la valeur des peuplements suivent, dans leur variation avec l'âge de ceux-ci, une marche semblable à celle que nous avons constatée pour les accroissements du volume : ils vont d'abord en augmentant, passent par un maximum, puis diminuent. Cependant, la valeur continue à croître de plus en plus rapidement bien plus longtemps que le volume ainsi qu'on peut le voir par les deux exemples cités ci-dessus (voir aussi fig. 119 et 120). Nous y voyons :

(1) *Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände*, par M. A. Schwappach, 1902, p. 112 (Neudamm, Neumann, éditeur).

Grandeur comparée des accroissements du volume et de la valeur dans des peuplements types normalement éclaircis.

PÉRIODES d'âges	PIN SYLVESTRE		ÉPICÉA	
	Accroissement annuel du volume	Accroissement annuel de la valeur	Accroissement annuel du volume	Accroissement annuel de la valeur
ans	mètres cubes	francs	mètres cubes	francs
De 20 à 30.	10	88	9.4	61
De 30 à 40.	14	142	11.0	145
De 40 à 60.	14	159	11.0	231
De 60 à 80.	3	218	6.5	269
De 80 à 100.	1.5	180	3	132
De 100 à 120.	»	42	1	76

Il en est de même des accroissements moyens. Ceux de la valeur culminent beaucoup plus tard que ceux du volume. Ainsi pour le peuplement de pins pris comme exemple ci-dessus l'accroissement moyen de la valeur culmine vers 100 à 110, ans tandis que celui du volume présente son maximum quarante ans plus tôt. Dans la plupart des cas on n'a même pas l'occasion de constater un maximum de l'accroissement moyen de la valeur dans les limites d'âge intéressantes en pratique. On observe du reste que les accroissements de la valeur croissent d'autant plus vite, sont d'autant plus grands et *culminent d'autant plus tôt* que les conditions de végétation sont plus favorables.

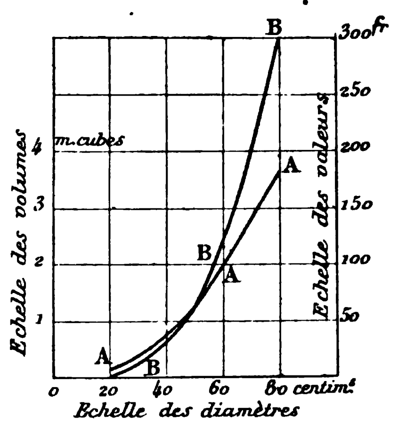


Fig. 119. — Croissances comparées, avec le diamètre à hauteur d'homme, du volume (courbe A) et de la valeur (courbe B) du tronc d'un chêne de taillis-sous-futaie (d'après M. Broilliard).

Le taux d'accroissement de la valeur suit, dans l'ensemble, la même loi de variation avec l'âge que celui du volume. Très élevé dans la jeunesse des arbres ou peuplements, il diminue d'abord très vite, puis de plus en plus lentement, sans cependant que

cette diminution cesse d'être sensible, même aux âges les plus avancés.

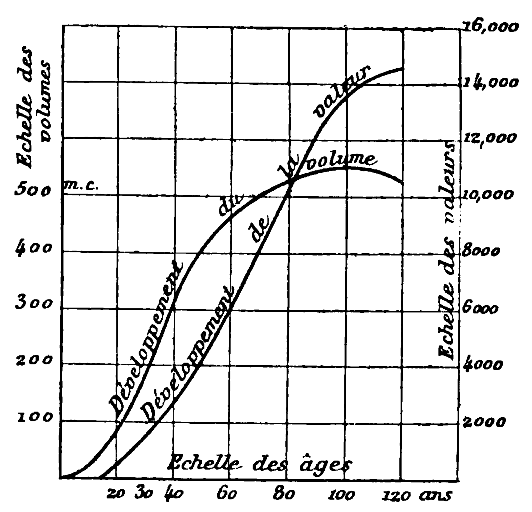


Fig. 120. — Développements comparés du volume et de la valeur d'un peuplement de pin sylvestre normalement éclairci.

Il est particulièrement intéressant de remarquer que, à tous les âges, *le taux d'accroissement de la valeur est supérieur à celui du volume.*

En effet soit v le volume d'un peuplement, P sa valeur et p le prix unitaire (prix du mètre cube dans le peuplement) on a

$$P = pv$$

Si v prend, avec le temps, un accroissement dv, p et P prendront des accroissements correspondants dp et dP et l'on aura

$$dP = pdv + vdp$$

Il en résulte

$$\frac{dP}{P} = \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p}.$$

Le taux d'accroissement de la valeur, $\frac{dP}{P}$, est donc égal à celui du volume, $\frac{dv}{v}$, augmenté d'une quantité $\frac{dp}{p}$, qui est tou-

jours plus grande que zéro puisque *dp* et *p* sont toujours des quantités positives (voir § 1er).

C'est ainsi que le taux d'accroissement de la valeur de vieux peuplements se maintient parfois à des valeurs comprises entre 1 et 2 p. 100 alors que celui de leur volume est devenu très faible ou même insensible (1). Ceci est naturellement d'autant plus marqué que le terme que nous avons appelé ci-dessus *dp* (accroissement du prix unitaire) a une valeur plus grande. L'effet de l'éclaircie, qui hâte et soutient le développement du diamètre, est évidemment de nature à favoriser et à maintenir la hausse du prix unitaire.

Les places d'essai que nous avons établies en 1892 dans la forêt de Celles (Vosges) en vue d'étudier l'influence de l'éclaircie sur le développement de sapins ont donné les résultats suivants pour des peuplements d'âge moyen (75 et 80 ans au début des expériences) suivis pendant une période de dix années consécutives.

	PARCELLES éclaircies	PARCELLES non éclaircies
Valeur, à l'hectare, du peuplement principal, au début des expériences (après l'éclaircie).	7.139 francs.	7.633 francs.
Production annuelle totale (produit intermédiaire compris), par hectare, en argent, pendant la durée des expériences (dix ans)	265 francs.	255 francs.
Taux auquel s'est formée la production pendant la durée des expériences	3,89 p. 100.	2,97 p. 100.
Augmentation, en dix ans, de la valeur du mètre cube ou du prix unitaire (dp)	1 franc 58.	0 franc 93.

(1) Une étude intéressante publiée par le chef actuel du service forestier dans la Basse-Alsace, M. l'Oberforstmeister Pilz, dans le fascicule de janvier 1904 de l'*Allgemeine Forst und Jagd-Zeitung*, établit que, dans la forêt de Haguenau, le taux auquel s'accroît la valeur des pineraies (pin sylvestre) entre 110 et 120 ans peut atteindre 2,55 p. 100 alors que le taux d'accroissement du volume ne serait guère que de 0,8 p. 100, ou même de 0,3 pour 100 seulement d'après les expériences des aménagistes français de 1842 (voir plus haut page 269). Dans cette même forêt de vieux massifs de chêne peuvent accroître, vers 150 ans, leur valeur au taux de 2.13 p. 100, alors que leur volume s'accroîtrait à moins de 1 p. 100 (de 0,30 à 0,65 pour 100 d'après les expériences françaises de 1842).

Dans une parcelle éclaircie la valeur du produit intermédiaire, intérêts non compris, réalisé en dix ans, représente à peu près le quart de celle de l'accroissement qu'a pris, pendant ce temps, le peuplement principal. Dans une parcelle non éclaircie, ce rapport n'est que de 3 p. 100 (1).

§ 5. — *Production en argent.*

La production en argent d'un peuplement qui vieillit ne résulte pas seulement de l'augmentation de sa valeur et, finalement, du revenu qu'il donnera lorsqu'il sera devenu exploitable, mais aussi des récoltes de produits intermédiaires qu'il fournit au cours de son existence.

C'est ici surtout que l'influence des éclaircies se fait sentir. Elle peut amener les produits intermédiaires à égaler en valeur les deux tiers, quelquefois davantage, de la valeur du produit fourni par le peuplement exploitable. Dans le cas de la pineraie prise comme exemple ci-dessus, les produits intermédiaires, échelonnés sur tout le cours de la vie du peuplement, de 20 à 120 ans, représenteraient, croyons-nous, les deux tiers au moins de la valeur du peuplement de 120 ans. D'après M. Jacquot un peuplement de pins d'Autriche, provenant de reboisements artificiels exécutés dans la Haute-Marne (2), fournirait en produits d'éclaircie, de 10 à 60 ans, un rendement de 1.400 francs au total, la valeur du peuplement de 60 ans étant de 2.300 francs.

(1) Ces calculs ont été effectués par M. Cuif, attaché à la station de recherches de Nancy. Ils sont une moyenne des résultats obtenus dans quatre places d'essai de 50 ares chacune. Ces peuplements *n'avaient jamais été éclaircis* avant le début des expériences de sorte que leur vigueur était fortement atteinte ; par suite de leur état de langueur ils n'ont réagi que très lentement et faiblement à la suite de l'éclaircie, d'autant plus qu'ils poussaient sur un sol de fertilité assez médiocre. L'expérience fût devenue beaucoup plus concluante et plus intéressante pendant une seconde décennie ; malheureusement, une circonstance accidentelle (chute de chablis) est venue y mettre fin.

(2) *Incendies en forêts*, par A. Jacquot. Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1903 (page 268).

M. Broilliard croit pouvoir admettre qu'une pineraie (pins sylvestres) peut, dans de bonnes conditions, fournir en produits d'éclaircie, de sa naissance jusqu'à l'âge de quarante ans, une valeur égale à celle du peuplement de quarante ans (1). L'importance relative des produits intermédiaires augmente avec la qualité de la station et à mesure que s'élève l'âge assigné à l'exploitation des peuplements. Dans des massifs de chêne coupés vers 150 à 200 ans, des pineraies exploitées vers 120 à 140 ans, la somme des produits d'éclaircie atteint les sept dixièmes au moins de la valeur du peuplement exploitable. D'après la station de recherches prussienne, elle s'élèverait aux huit dixièmes (82 p. 100) dans des peuplements d'épicéa de croissance rapide (2).

L'importance de l'augmentation, par l'éclaircie, des revenus intermédiaires s'accroît encore si l'on considère que ces revenus sont perçus par anticipation, en quelque sorte, bien avant l'époque où ils deviendraient disponibles si on les laissait s'incorporer, en partie au moins, au peuplement principal en bornant les réalisations intermédiaires à des bois morts ou dominés. Si l'on tient compte des intérêts accumulés, jusqu'au moment de la coupe du peuplement principal, de la valeur des produits intermédiaires réalisés, on obtient, par exemple, dans le cas du peuplement de pins d'Autriche cité ci-dessus par M. Jacquot :

Produits intermédiaires réalisés pendant le cours de la vie du peuplement........................	1.400 fr.
Intérêts accumulés de ces produits jusqu'au moment de la coupe principale..................	790 »
Valeur totale réalisée, au moment de la coupe principale, par les produits d'éclaircie............	2.190 »
Valeur de la coupe principale à 60 ans....	2.300 »

(1) *Traitement des bois*, par C. Broilliard. Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1894 (page 344).

(2) *Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände*, etc., *op. cit.*

Ce calcul, très modéré, nous montre l'intérêt financier du produit intermédiaire. Dans la plupart des cas, les revenus accumulés des éclaircies, grossis de leurs intérêts, représentent une somme très supérieure à la valeur du produit principal, lorsque celui-ci vient à échéance.

TROISIÈME PARTIE

LE CAPITAL FORESTIER

CHAPITRE PREMIER

NATURE DU CAPITAL FORESTIER. LES DIFFÉRENTS TYPES D'EXPLOITATIONS FORESTIÈRES

SOMMAIRE

§ 1. — Nature du capital forestier.

Capital de roulement.
Capital fonds. Définition du fonds.
Capital superficie. Temps nécessaire à former la récolte, notion de l'exploitabilité. Définition de la superficie.

§ 2. — Les différents types d'exploitations forestières.

Exploitations de peuplements, d'arbres, mixtes.
Exploitations périodiques, aménagées, graduées.

§ 1. — *Nature du capital forestier.*

Nous trouvons en forêt trois espèces de capitaux que nous devons distinguer. Nous les appellerons

1° Le capital de roulement;
2° Le capital fonds;
3° Le capital superficie.

I. — Capital de roulement.

Ce capital, indispensable à toute exploitation, quelle que soit sa nature, est celui qui sert à rémunérer le travail humain qui

collabore à la production, soit pour les récoltes, soit pour les travaux d'amélioration et d'entretien divers. Il ne présente rien de spécial dans le cas de la forêt, et ce que nous avons dit dans la première partie de cette étude de l'importance du rôle du travail humain nous dispense de nous étendre davantage ici.

II. — Le capital fonds.

La meilleure définition que nous puissions donner du fonds est la suivante : *Le fonds comprend tout ce qui reste dans la forêt immédiatement après une coupe à blanc étoc l'ayant parcourue tout entière.*

Ce sera donc

1° Le sol avec les valeurs qui lui sont incorporées et dont les principales sont :

a) Les souches, racines, graines tombées des arbres, prêtes, dans la plupart des cas, à reproduire gratuitement un nouveau peuplement.

b) Les provisions d'humus, de feuilles mortes, l'ensemble des qualités physiques et chimiques de la *terre à bois.*

c) Les bornes et fossés de limites, les routes avec leurs travaux d'art, les lignes d'aménagement, fossés d'assainissement, etc.

d) Les maisons destinées au logement du personnel de gestion, de surveillance et à celui des ouvriers, les pépinières, etc., etc.

Tout cela forme un ensemble très complexe de biens qui sont les uns des dons gratuits de la nature, les autres le résultat de travaux humains, ensemble que nous comprendrons sous le nom de fonds.

Le fonds n'est pas entièrement spécial aux forêts. Il existe un élément de capital analogue dans toutes les exploitations agricoles. Nous aurons à revenir sur la question des fonds de forêts dans l'étude qui suivra celle-ci; pour le moment, nous n'avons qu'à signaler l'existence de cette seconde partie du capital forestier.

III. — Le capital-superficie.

Ce qui est absolument spécial aux forêts et les distingue de toutes les autres exploitations agricoles c'est que leur récolte ne se forme pas en un an, et que le moment où elle est réalisable n'est pas naturellement déterminé.

Voici, par exemple, un hectare de terrain où nous venons de répandre de la graine de pin. Le jeune semis ne sera *exploitable*, c'est-à-dire bon à réaliser, à porter sur le marché, ni la première, ni la seconde année, ni même pendant une période assez longue, de 20 ans par exemple, âge auquel le prix que procurera la vente des produits sur le marché commencera à dépasser les frais de leur récolte. *C'est ainsi que la récolte ne se forme pas en un an*. Mais on peut aussi bien différer la réalisation jusqu'au moment où le peuplement aura atteint 30, 50, 100 ou 150 ans. On aura, suivant la décision qu'on prendra à cet égard, des exploitations bien différentes les unes des autres. *C'est ainsi qu'en forêt le moment où la récolte doit être faite, l'âge d'exploitation, n'est pas naturellement déterminé.*

Ces deux circonstances sont absolument caractéristiques de l'exploitation forestière. D'elles découlent l'existence et l'importance du troisième élément du capital que nous appellerons la superficie.

De ce que la récolte met de nombreuses années à se former il résulte nécessairement que, dans une forêt envisagée à un moment quelconque, il existe toujours des récoltes en formation, des bois sur pied grandissant en vue d'une réalisation ultérieure, c'est-à-dire un capital superficiel. L'importance de celui-ci variera naturellement avec l'âge d'exploitation, et il est facile de prévoir qu'elle augmentera à mesure que cet âge sera plus élevé, ainsi que nous allons du reste l'examiner avec détail aux chapitres suivants.

§ 2. — *Les différents types d'exploitations forestières.*

Dans les forêts, nos récoltes portent tantôt sur tous les bois couvrant une étendue déterminée, sur un peuplement. D'autres fois, au contraire, nos coupes portent sur des arbres que nous récoltons çà et là, individuellement, à mesure qu'ils sont désignés à la coupe. De là deux *formes* d'exploitations : les *exploitations de peuplements* et les *exploitations d'arbres*. Très souvent on les réalise toutes deux à la fois dans une même forêt, on a alors une troisième forme : l'*exploitation mixte*. Chacune de ces formes présente des modalités.

Nous avons vu que la récolte forestière met à se créer une période de temps plus ou moins longue. Il en résulte que, sur un même emplacement, le revenu ne sera perçu que *périodiquement*, à des intervalles de temps égaux au nombre d'années assigné à l'âge d'exploitation. On appelle *exploitations périodiques* ces exploitations qui ne donnent de revenus qu'à des intervalles égaux au temps que le produit met à se former.

De pareilles exploitations, qui accumulent leur production pendant longtemps pour la livrer en une seule fois sont de véritables caisses de capitalisation, d'excellents et sûrs instruments de création de capitaux. Celui qui en acquerra immédiatement après une coupe pourra le faire avec une dépense minime, puisqu'il n'aura que le fonds à payer. A partir de ce moment son capital initial ne cessera de grandir, suivant une loi qui lui est propre, de telle manière qu'il fournira longtemps une production plus considérable que celle d'une somme d'argent s'accroissant par la composition de ses intérêts au taux fixe des placements agricoles dans la région. Cette création de richesse se produira avec sécurité, sans frais et presque sans soins, ceux-ci se bornant en général à la défense de la propriété contre le vol ou les usurpations.

Mais l'exploitation forestière peut aussi avoir un autre but que celui de créer des capitaux. On peut l'employer comme instrument de production d'un revenu, en faire la source continue

de recettes annuelles. C'est ce qu'on appelle l'*aménager*, l'adapter aux exigences du ménage humain, dont les besoins sont continus, et de plus généralement uniformes d'une année à l'autre, bien plutôt que périodiques. La *forêt aménagée*, dans le sens étroit de ce mot, sera donc celle qui aura été disposée de façon à nous donner un produit *annuel* et *constant*.

Entre l'exploitation aménagée et l'exploitation périodique se range celle qui donne des revenus à des intervalles de temps supérieurs à un an, mais inférieurs au temps nécessaire à former la récolte. Ce type intermédiaire entre l'exploitation aménagée et l'exploitation périodique a reçu de Puton (1) le nom d'*exploitation graduée*. Il est du reste peu intéressant par lui-même, au point de vue théorique; ses particularités sont faciles à déduire des deux autres genres d'exploitation que nous examinerons spécialement.

Nous avons donc, en somme, trois *formes* d'exploitations :
Les exploitations de peuplements,
Les exploitations d'arbres,
Les exploitations mixtes,
et trois *genres*, qui peuvent se réaliser dans chacune des trois formes :
Les exploitations périodiques,
Les exploitations graduées,
Les exploitations aménagées.

Les formes d'exploitations, avec leurs modalités, correspondent, dans une certaine mesure, aux *régimes* et aux *modes de traitement* des sylviculteurs. Les exploitations de peuplements sont des *futaies pleines* ou des *taillis simples* ordinaires; les exploitations d'arbres sont des *futaies jardinées*, des *futaies claires* ou des *taillis furetés;* les exploitations mixtes sont des *taillis-sous-futaie*.

Les genres d'exploitations résultent d'une conception d'ordre purement économique, qui n'a pas d'analogue en sylviculture.

(1) *Traité d'Economie forestière*, tome Ier, page 127. Paris, Marchal et Billard, 1888.

CHAPITRE II

LE CAPITAL-SUPERFICIE DANS LES EXPLOITATIONS DE PEUPLEMENTS

SOMMAIRE

§ 1. — *Exploitations périodiques.*

Le type de l'exploitation périodique de peuplement serait, par exemple, une parcelle couverte de pins qu'on laisserait croître jusqu'à 40 ans, qu'on couperait à blanc étoc, et qu'on ensemencerait à nouveau tout aussitôt. Ou bien encore un taillis qu'on recéperait entièrement, sans aucune réserve, tous les 25 ou 30 ans.

Cette exploitation est très simple et nous n'avons rien de plus à en dire que ce qui se trouve au dernier paragraphe du chapitre précédent, où nous l'avons mentionnée pour la première fois. Faisons toutefois remarquer que le capital-superficie, va-

riable d'une année à l'autre, se retrouve cependant identique à lui-même si on le considère à des intervalles de temps égaux à celui qui sépare les récoltes.

Ici se place une remarque. Dans le peuplement qui vieillit le nombre de tiges va en diminuant ; il s'élimine nécessairement des individus qui sont à réaliser en produits intermédiaires. L'importance de ceux-ci croît naturellement très vite avec l'âge d'exploitation. Il résulte de là que l'exploitation rigoureusement périodique est une pure conception de l'esprit, irréalisable en fait. En même temps que le revenu principal, périodique, nous avons des produits intermédiaires; l'exploitation cesse d'être *simple*, c'est-à-dire ne comportant que des produits d'un seul âge, pour devenir *composée*, c'est-à-dire fournissant des bois d'âges variés. Cependant, en pratique, *lorsque l'âge d'exploitation n'est pas trop avancé*, on peut négliger le produit intermédiaire, et alors l'exploitation périodique se trouve exactement réalisée.

§ 2. — *Exploitations aménagées.*

Soit une exploitation aménagée destinée à fournir, chaque année, un hectare de bois de 25 ans. Supposons-nous placé au moment de percevoir une récolte. Nous devons trouver en forêt :

1° Un hectare de bois de 25 ans, c'est notre récolte;

2° — — 24 — récolte à faire dans 1 an;

3° — — 23 — — — 2 ans;

etc.

. . . .

. . . .

24° Un hectare de bois de 2 ans, récolte à faire dans 23 ans;

25° — — 1 an, — — 24 ans;

En tout vingt-cinq parcelles ou *parquets* de coupes, d'étendues égales, portant des peuplements de tous les âges compris entre un et vingt-cinq ans,

Immédiatement après la coupe, sur nos vingt-cinq parquets, les bois auront les âges de 0, 1, 2, 3,..... 23, 24 ans et un an plus tard, lorsque le moment de la récolte sera revenu, les bois auront de nouveau 1, 2, 3, 4,..... 24, 25 ans.

Tel est le capital-superficie nécessaire et suffisant, et le mécanisme de l'exploitation aménagée. On voit que celle-ci n'est, en somme, que la juxtaposition, dans un même ensemble, d'autant d'exploitations périodiques réglées au même âge qu'il y a d'années dans l'âge d'exploitation, chacune d'elles venant à échéance successivement, d'année en année.

On voit aussi que, dans ce cas encore, si on considère le matériel à des intervalles de temps égaux à ceux qui séparent deux récoltes, il se retrouve identique à lui-même. Comme les exploitations se font annuellement, on peut dire que, dans l'exploitation aménagée, le capital, de même que le revenu, reste constant dans le temps; c'est la caractéristique des exploitations aménagées.

Si nous supposons deux exploitations identiques à tous les points de vue, mais réglées à des âges différents n et n', n' étant plus grand que n, il est facile de voir que le capital-superficie de la seconde exploitation, réglée à l'âge le plus avancé, sera le plus grand.

En effet, soit S la surface supposée identique pour les deux forêts. Dans la première nous trouvons n parquets d'une étendue $\frac{S}{n}$ chacun et portant des bois de 1 à n ans; dans la seconde n' parquets d étendue $\frac{S}{n'}$ couverts de bois âgés de 1 à n' ans. C'est dire que dans la seconde il n'y aura que n parquets, couvrant une surface $\frac{nS}{n'}$, plus petite que S, puisque n' est plus grand que n, portant des bois de 1 à n ans, le surplus, c'est-à-dire une surface égale à $\frac{S(n'-n)}{n'}$ étant couvert de bois âgés de n à n' ans.

Il est donc évident que le capital sera plus grand dans le second cas que dans le premier.

Il est intéressant de représenter graphiquement la grandeur du capital-superficie dans une exploitation aménagée de peuplements.

Soit (fig. 121) une ligne horizontale et un point origine O. Si

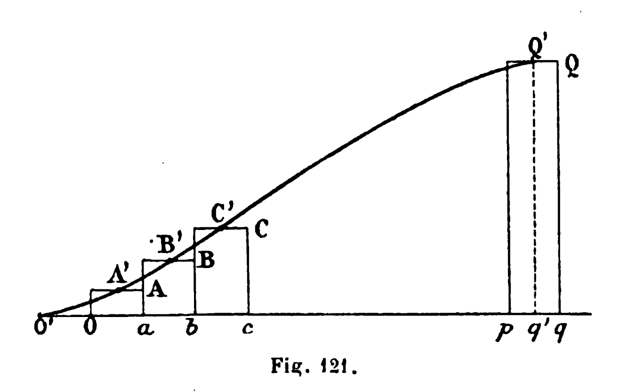


Fig. 121.

l'on veut figurer le capital-superficie, immédiatement après une coupe, d'une forêt de contenance S aménagée à l'âge n, portons à partir de O des longueurs Oa, ab, bc, etc., représentant, à une échelle quelconque, des grandeurs égales à $\frac{S}{n}$ et soit pq la dernière, de sorte que Oq représente à l'échelle (1) la surface S. Sur Oa construisons un rectangle dont la hauteur Aa représente à l'échelle le volume à l'unité de surface du peuplement de 1 an, de même sur ab un rectangle dont la hauteur Bb représente à l'échelle le volume du peuplement de deux ans, et ainsi de suite jusqu'au rectangle pqQ dont la hauteur qQ figurera le volume à l'unité de surface du peuplement de n ans.

Il est clair que la somme des surfaces de tous ces rectangles

(1) Si l'on suppose $\frac{S}{n} = 1$, c'est-à-dire si la forêt est aménagée de façon à donner comme revenu 1 hectare de bois de n ans la longueur Oq représentera l'âge d'exploitation.

représentera, à l'échelle adoptée pour les volumes, le matériel total.

Prenons, à gauche du point O, un point O' tel que $OO' = \frac{S}{2n}$ et joignons par un trait continu ce point O' aux milieux A', B', C'... etc...Q', de tous les côtés supérieurs des rectangles, projetons le point Q' en q' sur l'axe horizontal. On peut admettre que la somme des surfaces de tous les rectangles, qui figure le capital-superficie, est égale à la surface comprise entre l'axe horizontal, la ligne O'A'B'... Q' et l'ordonnée finale Q'q'.

Or cette ligne O'A'B'... Q' est évidemment la même qui figurerait l'évolution du volume d'un peuplement passant de l'âge zéro à l'âge n puisque, pour n différences d'abscisses égales, les différences d'ordonnées sont précisément celles que présente le volume de peuplements dont l'âge varie d'année en année de zéro à n ans. Cette ligne a une forme qui nous est familière par ce que nous avons vu dans la II[e] partie de cette étude.

En d'autres termes, si OP (fig. 122) représente une longueur

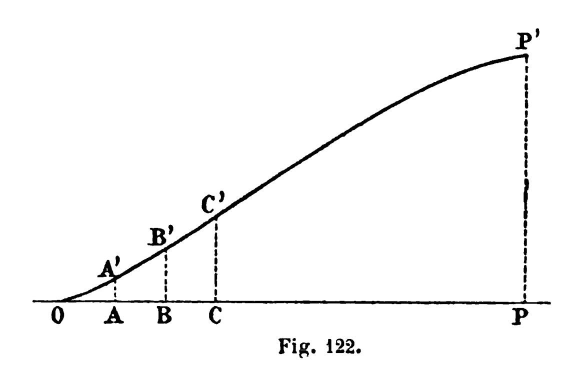


Fig. 122.

S et si on porte en ordonnées à l'extrémité d'abscisses OA, OB, OC,... etc., égales à $1\frac{S}{n}$, $2\frac{S}{n}$, $3\frac{S}{n}$ etc... $n\frac{S}{n}$, n étant l'âge d'exploitation, des longueurs AA', BB', CC', etc... PP', représentant le volume à l'unité de surface de peuplements de 1, 2, 3... n ans, la ligne obtenue en joignant les sommets des ordon-

nées, qui est évidemment celle qui figure la variation du volume d'un peuplement qui passe de 1 à n ans, délimite, avec l'axe OP et l'ordonnée finale PP', une aire qui figure, à l'échelle, le capital-superficie d'une forêt aménagée de peuplement dont la contenance totale est OP et n l'âge d'exploitation.

Cela étant, il apparaît avec évidence que le capital, toutes choses égales d'ailleurs, doit aller en augmentant avec l'âge d'exploitation.

§ 3. — *Exploitations graduées.*

Si l'on veut obtenir, tous les cinq ans par exemple, une récolte formée par un hectare de peuplement de 20 ans la forêt devra présenter, au moment où une récolte va être perçue :

1°	Un hectare de bois de	20 ans, c'est notre récolte,				
2°	—	15 —	, récolte à faire dans		5	ans,
3°	—	10 —	—	—	10	—
4°	—	5 —	—	—	15	—

Tel sera le capital nécessaire et suffisant. Il est facile de voir qu'une pareille exploitation ne peut se concevoir que si le nombre n' des années qui séparent les récoltes est un sous-multiple de l'âge d'exploitation ; que son capital se retrouve identique à lui-même tous les n' années, que la grandeur de ce capital se rapproche d'autant plus de celle du capital d'une exploitation aménagée à n ans que n' sera plus petit. Suivant la grandeur qu'on adoptera pour n', l'exploitation se rapprochera autant que l'on voudra soit du genre périodique, soit du genre aménagé, entre lesquels il peut présenter tous les états intermédiaires.

CHAPITRE III

LE CAPITAL-SUPERFICIE DES EXPLOITATIONS D'ARBRES

SOMMAIRE

§ 1. — La futaie jardinée idéale.

Définition du type jardiné. Avantages culturaux de ce type qui convient particulièrement aux essences d'ombre, et, en première ligne, au sapin.

Ce qu'on entend par une *Suite aménagée.* Catégories d'âges, de diamètres. Temps nécessaire aux arbres pour passer d'une catégorie à la suivante.

Nombre des arbres des diverses catégories dans une suite aménagée jardinée.

Méthode basée sur le couvert des arbres. — Avantage économique du type jardiné : aucune partie de la forêt n'est spécialement réservée aux jeunes bois; à tout moment et sur tous les points les forces productives sont employées à produire des bois de valeur.

Méthode des inventaires. — La suite aménagée normale en Savoie, dans les Vosges, le Jura, les Préalpes du Dauphiné. Rapport constant, et caractéristique des conditions locales, entre le nombre des arbres d'une catégorie et celui des arbres de la catégorie suivante. La courbe représentant graphiquement la composition de la suite normale est une logarithmique.

§ 2. — La futaie claire.

I. **Nécessité de rechercher un nouveau mode de traitement pour le chêne dans le Nord-Est de la France.** — Difficultés de l'éducation du chêne en futaie pleine dans le Nord-Est de notre pays; elles ont fait imaginer, et adopter dans cette région, le type du taillis-sous-futaie. Inconvénient économique du taillis-sous-futaie : il produit nécessairement une forte proportion de bois de feu.

Conversions des taillis-sous-futaie en futaie pleine; difficultés et dangers de ces opérations dans les forêts à chênes des terrains frais et fertiles; on a dû très généralement y renoncer.

Transformation des taillis-sous-futaie en futaies sur taillis. Dangers des balivages inconsidérés; ils tarissent la source du recrutement de la réserve.

II. **Définition de la futaie claire.** — Parquets et rotations. Matériel du parquet en tour. Catégories d'âges, de diamètres. Les chênes des futaies claires sont isolés et toutes les classes d'âges sont mélangées dans le même parquet. Semis et souille. La coupe, ce qu'elle réalise. Avantages

de ce type de forêt : facilité de régénération et de maintien du chêne, production élevée en bois d'œuvre, suppression des coupes d'amélioration, réglementation exacte des coupes.

III. **Capital-Superficie des futaies claires. — Nombre des arbres des diverses catégories dans une suite aménagée de futaie claire.**

Méthode basée sur le couvert des arbres. — Couvert des chênes de taillis-sous-futaie. Rapport du couvert d'un arbre à sa surface terrière. Exemple d'une suite normale. Note sur la futaie étagée de Puton, sur la méthode de Gurnaud.

§ *1. — La futaie jardinée idéale* (1)

I

La futaie jardinée idéale est une forêt dans laquelle on trouve confusément mêlés sur tous les points des arbres de tous les âges, depuis le semis jusqu'à l'arbre exploitable, de sorte que l'on doit parcourir chaque année toute l'étendue pour percevoir la récolte, formée d'arbres disséminés çà et là.

L'existence de ce type de forêt se justifie par des considérations d'ordre cultural (2). Lorsque les conditions de station sont telles que la régénération, qu'on veut obtenir par la voie naturelle, soit extrêmement lente ; lorsqu'il est dangereux, soit au point de vue du maintien du sol, soit au point de vue de la sécurité des peuplements eux-mêmes d'interrompre même tant soit peu le couvert, l'état jardiné s'impose. Le type jardiné, tel que nous venons de le définir et tel que nous allons l'étudier, convient essentiellement aux essences d'ombre, *en toute première ligne au sapin*, puis aux sapinières mélangées de hêtre ou d'épicéa, dans une moindre mesure aux forêts peuplées de

(1) Nous renonçons, à cause de leur faible intérêt pratique, à parler ici des exploitations périodiques d'arbres. Leur théorie serait du reste facile à déduire de ce que nous allons considérer à propos des exploitations aménagées.

Nous ne parlerons pas davantage, et pour des raisons analogues, des taillis furetés. Le furetage est du reste un mode de traitement peu répandu, et en voie de disparition sur presque tous les points, où la futaie résineuse se substitue aux anciens taillis.

(2) Nous ne voulons pas dire par là que le type jardiné ne présente pas aussi des avantages économiques. Mais ce sont ordinairement des motifs d'ordre cultural que la plupart des forestiers envisagent lorsqu'ils adoptent la forme jardinée.

ces deux dernières essences à l'état pur. Pour nous une futaie jardinée sera toujours, en principe, une futaie où le sapin domine. Lorsque les circonstances obligent à jardiner des essences comme le mélèze ou les pins on est amené à grouper, par petits bouquets, des arbres de même âge que l'on coupe à la fois, lorsqu'ils ont atteint l'âge fixé, de façon à faire de petites trouées qui facilitent la régénération.

II

Si l'on veut obtenir, chaque année, comme récolte, un arbre de n ans, il faut évidemment que la forêt renferme

1 arbre de... 1 an
1 — 2 ans
1 — 3 ans
....
....
etc.
....
....
1 arbre de n-1 ans
1 — n ans

c'est-à-dire n arbres âgés de 1 à n ans.

L'ensemble des tiges nécessaires à la production annuelle d'un arbre constitue ce que nous appellerons **une suite normale aménagée.**

Il est peu pratique de considérer la suite comme formée d'arbres d'*âges* variés, parce que les âges ne sont pas discernables sur des arbres debout. On substitue donc à la notion des âges celle des diamètres, et voici comment.

Les diamètres se mesurant, par exemple, en multiples de cinq centimètres, on aura, dans une suite, des arbres de 5, 10, 15, 20, 25... etc... qui forment, suivant la limite de dimension qu'on veut laisser atteindre à l'arbre exploitable, douze, treize, quatorze catégories de diamètres ou davantage.

Le nombre des classes d'âge comprises dans une catégorie de diamètres ne sera pas le même pour toutes ces catégories. Ce ne serait exact que si la période de temps nécessaire à un arbre pour passer d'une catégorie à la suivante était toujours la même quelle que soit sa grosseur. Ce que nous savons des lois de l'accroissement du diamètre, lent chez les individus très jeunes, à peu près uniforme ensuite pendant longtemps, et de nouveau ralenti aux âges avancés, semblerait indiquer que les catégories de diamètre supérieures renfermeront plus de classes d'âge que les catégories moyennes (1). Tel serait sans doute le cas si les catégories supérieures étaient formées d'arbres croissant dans des conditions de station semblables à celles où se trouvent les bois moyens et ne différant de ceux-ci que par l'âge. En réalité, dans la plupart des forêts, pour peu que les conditions de végétation y soient variables d'un point à l'autre, les plus gros arbres ne sont pas toujours les arbres les plus âgés. *Ce sont des arbres qui ont poussé plus vite que les autres*, et qui, souvent, malgré leurs dimensions, s'accroissent encore plus vite que ceux de taille moyenne. Il n'est pas de forestier qui n'ait eu l'occasion de le constater.

Il en résulte que si l'on pratique, dans une région tant soit peu étendue, et par suite présentant des parties de fertilités inégales, des recherches en vue de déterminer le temps nécessaire aux arbres pour passer d'une catégorie à la suivante, on trouve des chiffres assez différents de ceux qu'on pourrait être tenté de déduire *a priori* des lois de croissance du diamètre chez les arbres. Abstraction faite des tout jeunes bois, on observe une uniformité remarquable pour la raison que nous venons d'exposer : les gros arbres, qui se trouvent très fréquemment dans des conditions de végétation plus favorables que les autres (meilleur sol, station plus abritée, exposition plus avantageuse

(1) Nous verrons qu'il n'y a pas à se préoccuper des tout jeunes bois, dont la quantité est indéterminée et qui existent toujours en surabondance dans les forêts jardinées bien traitées.

etc.) peuvent s'accroître encore, dans leur ensemble, aussi rapidement que les bois moyens (1).

Nous pouvons donc, sans trop d'inexactitude, semble-t-il, admettre que le temps nécessaire pour passer d'une catégorie à la suivante, abstraction faite des tout petits bois, est sensiblement constant dans une forêt donnée, quelle que soit la dimension des arbres (2).

Ce temps varie naturellement suivant les régions. M. Schæffer l'a trouvé égal à 16 ans environ dans les Alpes moyennes de Savoie (3). D'après M. Gazin, il varierait de 13 à 18 ans dans les Vosges (4); d'après M. de Liocourt, il serait de 8 à 15 ans dans la même région, et, en moyenne, de 10 ans, pour les bois de vingt centimètres de diamètre et au delà (5). M. d'Alverny donne des nombres dont la moyenne est 14 ans pour les sapins des Préalpes dauphinoises vers 1300 à 1600 m. d'altitude (6). En somme, il y a là une constante à rechercher dans chaque cas particulier.

Il est facile, du reste, de déterminer le nombre des classes d'âge comprises dans chaque catégorie de diamètre, ou, ce qui revient au même, le temps que mettent les arbres à passer d'une catégorie à la suivante. Il suffit de suivre, pendant une vingtaine d'années par exemple, le développement du diamètre sur un grand nombre d'arbres de diverses grosseurs dans la forêt. Si

(1) D'après M. de Liocourt, dans l'ensemble des Vosges françaises, les gros arbres croîtraient même *plus vite* en diamètre que les autres. Ce résultat, d'apparence paradoxale, peut s'expliquer si l'on considère l'extrême variabilité des conditions de végétation dans la région très étendue (les Vosges, du Donon au Ballon d'Alsace) que cet auteur a englobée dans une même étude d'ensemble. — Voir *Sapinières*, par de Liocourt, mémoire autographié, sans date (il est de 1901), à la bibliothèque de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts.

(2) Cette hypothèse n'est du reste pas le moins du monde indispensable pour ce qui va suivre : nous la faisons parce qu'elle donne lieu à une remarque intéressante et que, du reste, elle n'entraine aucune erreur qui ne soit dans les limites tolérables.

(3) *Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté*, tome V, page 532 (fascicule d'octobre 1900).

(4) *Le Traitement des sapinières*. Paris, Lahure, éditeur, 1903 (extrait du compte-rendu de la session de 1902 de la Société des Agriculteurs de France).

(5) *Op. cit.*, page 21. Voir aussi Bulletin précité, fascicule de juillet 1898.

(6) *Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté*, fascicule de mars 1901.

l'on a besoin de résultats immédiats, on peut se servir de la tarière de Pressler qui permet de constater, sur l'arbre debout, l'épaisseur des derniers accroissements. Il est encore plus simple de profiter des abatages exécutés dans les coupes pour déterminer l'âge des arbres de différents diamètres.

La connaissance du temps nécessaire aux arbres pour passer d'une catégorie à la suivante ne suffit pas pour que l'on puisse en déduire le nombre d'arbres des catégories successives qui doivent se trouver normalement dans une suite aménagée. En effet, si 15 ans, par exemple, est le temps nécessaire aux arbres pour passer de la catégorie 6 à la catégorie 7, il n'est pas suffisant que nous ayons vingt arbres de la catégorie 6 pour que nous soyons assuré d'en retrouver, 15 ans plus tard, vingt de la catégorie 7. Dans l'intervalle des 15 années, il se produira des déchets. Certains arbres disparaîtront, victimes d'un des mille accidents qui menacent tout être vivant. Il faudra donc, pour être sûr de trouver, dans 15 ans, vingt arbres de la 7e catégorie, que nous ayons, à présent, dans la forêt, un nombre plus grand d'arbres de la 6e. La différence des deux nombres sera d'autant plus grande que l'intervalle considéré, c'est-à-dire la durée du passage d'une catégorie à la suivante, sera plus long et aussi que les bois sont plus jeunes, parce que la mortalité, chez les arbres comme chez tous les êtres vivants, est plus forte dans les premiers temps de la vie.

De nombreuses recherches ont été faites depuis une vingtaine d'années en France en vue d'établir la loi suivant laquelle varient, avec le diamètre, les nombres des arbres des différentes catégories dans une suite normale. On conçoit l'importance du problème : de sa solution dépend la *définition de l'état normal* d'une forêt jardinée.

On a voulu arriver au résultat en admettant, *a priori*, que toutes les catégories doivent couvrir une surface de terrain égale, par analogie avec ce qu'on voit réalisé dans les exploitations de peuplements. Cette hypothèse est très improbable. Dans les sapinières jardinées, les arbres des deux ou trois catégories infé-

rieures prospèrent parfaitement, et seront même naturellement, sinon nécessairement, distribués *sous le couvert* des arbres des catégories supérieures. Il en sera encore ainsi, dans une moindre mesure, des arbres de quatrième, cinquième et même sixième catégorie. *C'est une particularité très remarquable de la sapinière jardinée que* d'économiser du fonds *parce qu'aucune surface n'est spécialement réservée aux tout jeunes bois, lesquels, dans les exploitations de peuplements, occupent une partie notable de l'étendue* (1). Une quantité égale de bois en production peut être logée sur un plus petit espace; à aucun moment et sur aucun point le sol (2) n'est uniquement, ni même principalement, employé à produire de jeunes bois.

Se basant néanmoins sur cette hypothèse de l'égalité de la surface occupée par chaque catégorie, et admettant d'autre part un rapport constant de un à quinze entre le diamètre des arbres à hauteur d'homme et celui de leur cime (3), ce qui permet de calculer le nombre de tiges qui ont place sur l'unité de surface, M. Gazin a trouvé qu'une suite normale, arrêtée à la neuvième catégorie, comporte, le nombre d'arbres de la neuvième catégorie étant pris pour unité :

DIMENSIONS DES ARBRES	NOMBRE D'ARBRES	RAPPORT entre le nombre des arbres d'une catégorie et celui des arbres de la catégorie suivante
3e catégorie (diamètre 0m15)......	8.76	1.77
4e — (diamètre 0m20)......	4.92	1.55
5e — (diamètre 0m25)......	3.16	1.43
6e — (diamètre 0m30)......	2.2	1.40
7e — (diamètre 0m35)......	1.6	1.29
8e — (diamètre 0m40)......	1.24	1.24
9e — (diamètre 0m45)......	1	»

(1) Il convient cependant de remarquer que dans les exploitations de peuplements, lorsque la régénération se pratique naturellement, par coupes progressives, les jeunes bois restent au moins partiellement couverts de grands arbres en pleine production, surtout dans les sapinières, pendant les 25 ou même les 40 premières années de leur vie.

(2) Nous disons ici le sol pour désigner l'ensemble des forces naturelles qui produisent l'accroissement.

(3) Admettre que le diamètre à hauteur d'homme est toujours le quinzième du

Au lieu de calculer *a priori* quelle *doit être* la composition de la suite normale, on préfère la déduire *a posteriori* de l'inventaire des peuplements de forêts que l'on *suppose être dans l'état normal.*

Le tableau ci-après montrera les résultats obtenus par divers auteurs dont les travaux méritent confiance.

Composition d'une suite normale dans une sapinière jardinée.

DIAMÈTRES	NOMBRE D'ARBRES					
	Alpes moyennes de Savoie (1)	Vosges (versant lorrain) (2)	Montagnes du Jura français (3)			PRÉALPES (4) du Dauphiné vers 1300-1400m
			basses	moyennes	hautes	
mètres						
0.15	»	30	»	»	»	30
0.20	8.1	21.1	»	»	»	23.4
0.25	5.2	15.1	80	16	5.7	17.6
0.30	3.9	10.8	67	13.4	4.7	12.8
0.35	3.1	7.7	53	10.6	3.8	9
0.40	2.5	5.6	44.5	8.3	3.0	6.4
0.45	1.9	4	32.2	6.6	2.3	4.2
0.50	1.5	2.8	23	4.5	1.6	2.6
0.55	1.2	2.0	15.2	3.1	1.2	1.6
0.60	1	1.4	8.5	1.8	1	1
0.65	»	1	6	1.2	»	»
0.70	»	»	3.6	1	»	»
0.75	»	»	2.2	»	»	»
0.80	»	»	1.3	»	»	»
0.85	»	»	1	»	»	»

Si, au lieu du nombre absolu, nous considérons le rapport entre le nombre des arbres d'une catégorie et celui des arbres de la catégorie suivante, nous obtenons le tableau ci-après :

diamètre de la cime (chez des sapins normalement conformés) revient à admettre que la surface terrière à l'hectare est indépendante de l'âge et égale à 44 mq. Cela peut être suffisamment exact, à la rigueur, pour des sapinières fortement éclaircies et d'âge au moins moyen.

(1) D'après M. Schæffer (*op. cit.*). Voir aussi *Revue des Eaux et Forêts*, vol. de 1904, page 362.

(2) D'après M. de Liocourt (*op. cit.*).

(3) D'après M. Brenot (*Etat des forêts résineuses du Doubs*), manuscrit, daté de 1897, à la Bibliothèque de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts.

(4) D'après M. d'Alverny (*op. cit.*).

Rapport entre le nombre des arbres d'une catégorie et celui des arbres de la catégorie suivante dans une suite normale.

DIAMÈTRES	Alpes moyennes de Savoie	Vosges (1) (versant lorrain)	Montagnes du Jura français			PRÉALPES du Dauphiné
			basses	moyennes	hautes	
mètres						
0.15	»	»	»	»	»	1.3
0.20	1.6	1.4	»	»	»	1.3
0.25	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4
0.30	1.25	1.3	1.3	1.3	1.25	1.4
0.35	1.25	1.2	1.2	1.25	1.3	1.4
0.40	1.30	1.4	1.4	1.25	1.3	1.6
0.45	1.28	1.3	1.4	1.45	1.4	1.6
0.50	1.23	1.6	1.5	1.4	1.3	1.6
0.55	1.20	1.5	1.8	1.7	1.2	1.6
0.60	»	1.6	1.4	1.6	»	»
0.65	»	»	1.7	1.2	»	»
0.70	»	»	1.6	»	»	»
0.75	»	»	1.7	»	»	»
0.80	»	»	1.3	»	»	»
0.95	»	»	»	»	»	»

Du tableau précédent se dégage cette constatation fort intéressante que, d'une catégorie de diamètre à la suivante, le rapport du nombre des arbres est à peu près constant. Sans doute cette uniformité ne saurait être absolue. Le rapport en question dépend à la fois de la loi de croissance du diamètre et de la mortalité, ou, plus généralement, des déchets qui se produisent aux divers âges. Mais il semble bien qu'il se produise une certaine compensation dans l'action de ces deux facteurs. Si les déchets sont plus nombreux parmi les catégories inférieures en revanche la croissance du diamètre est plus rapide; de même les gros arbres, dont le diamètre croît moins vite, ont, par contre, une mortalité moindre. Nous croyons qu'il est légitime d'admettre, dans l'état actuel de nos connaissances, que, pour chaque région,

(1) Ces nombres sont ceux qui se dégagent directement des comptages effectués sur le terrain. M. de Liocourt, dans son ouvrage précité, leur a substitué une moyenne uniforme de 1,4.

il existe un rapport constant, que nous appellerons K, entre le nombre des arbres d'une catégorie et celui des arbres de la catégorie suivante. Cela étant, nos suites comprendront, le nombre des arbres exploitables étant pris pour unité :

1 arbre de la catégorie exploitable, par exemple la douzième,
$1 \times K$ arbres de la onzième catégorie,
$1 \times K^2$ — dixième — ,
$1 \times K^3$ — neuvième — ,
$1 \times K^4$ — huitième — , etc.

C'est-à-dire que le nombre des arbres, croissant de la catégorie exploitable jusqu'à celle des plus petits bois, croîtra comme les puissances successives entières d'un nombre plus grand que l'unité. Ou bien encore la quantité des arbres croîtra comme la série des nombres qui auraient pour logarithmes les nombres entiers successifs dans un système de base K.

Si nous portons en abscisses les diamètres dans l'ordre décroissant en commençant par celui de l'arbre exploitable, en ordonnées le nombre des arbres correspondant au diamètre, nous aurons (fig. 123) une courbe dont l'équation sera $y = K^x$. C'est la logarithmique, décrite et étudiée dans tous les cours d'algèbre. Nous pouvons construire facilement cette courbe; c'est ce que nous avons fait en prenant pour K des valeurs égales à 1,25 et 1,28. Nous superposons à ces courbes celles qu'on obtiendrait avec les chiffres donnés par M. Schæffer pour la Savoie et M. Brenot pour le Haut-Jura.

La concordance remarquable que met en évidence la figure 123 nous permet d'affirmer que les petits bois, dont la quantité reste indéterminée, étant mis à part, la courbe qui représente la loi de variation du nombre des arbres avec le diamètre dans une suite normale a pour équation $y = K^x$, K étant une constante qui paraît varier, suivant les régions, entre 1.25 et 1.45.

Il résulte suffisamment de ce qui précède que, dans la forêt

jardinée aménagée, comme dans l'exploitation de peuplement aménagée, le capital-superficie reste constant d'une année à l'autre.

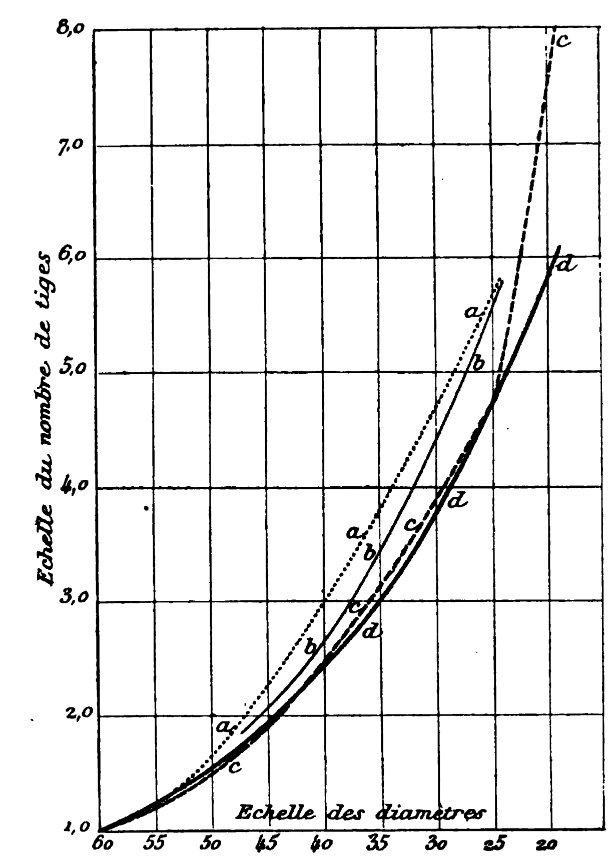


Fig. 123. — Nombre d'arbres de différentes catégories de diamètres dans une suite normale aménagée d'une sapinière jardinée.

a) d'après M. Brenot, pour le Haut-Jura.
b) courbe dont l'équation est $y = 1{,}28^x$.
c) d'après M. Schæffer, pour la Savoie moyenne.
d) courbe dont l'équation est $y = 1{,}25^x$.

Ce capital, toutes choses égales d'ailleurs, sera aussi d'autant plus grand que la dimension de l'arbre exploitable sera plus forte, ou l'âge d'exploitation plus élevé. C'est ainsi que, dans les Vosges, d'après les comptages rapportés par M. de Liocourt,

qui ont porté sur 15.000 hectares de sapinières, le matériel normal par hectare est de :

400 mètres cubes dans une sapinière où l'arbre exploitable mesure 0 m. 80 de diamètre;

386 mètres cubes dans une sapinière où l'arbre exploitable mesure 0 m. 65 de diamètre;

340 mètres cubes dans une sapinière où l'arbre exploitable mesure 0 m. 50 de diamètre.

D'après M. Brenot, dans le Bas-Jura, un hectare porte, dans une forêt aménagée en vue de la production d'arbres de 0 m. 85 de diamètre, un matériel de 570 m. cubes environ. D'après M. Schæffer, il faudrait, en Savoie, 320 m. cubes par hectare pour obtenir des arbres de 0 m. 60 de diamètre comme produit principal.

§ 2. — *La futaie claire.*

I. — Nécessité d'adopter un nouveau mode de traitement pour le chêne dans le Nord-Est de la France.

Dans une grande partie de la France, celle précisément qui renferme la plupart des forêts publiques du pays, la régénération naturelle des essences feuillues, ou tout au moins celle du chêne, se heurte à de grandes difficultés. Les glandées sont souvent fort rares, séparées par des intervalles de près d'un quart de siècle. (Il n'y en a pas eu de complètes, en Lorraine, depuis 1861 et 1888.) De plus, dans cette région, les chênes croissent surtout sur les terrains argileux frais (1) et ceux-ci se revêtent rapidement, dès qu'on entr'ouvre les peuplements, d'un tapis bientôt continu d'herbes de haute taille qui s'oppose à l'installation des semis naturels. Ces difficultés, et d'autres encore sur lesquelles il n'y a pas lieu de s'étendre davantage ici, avaient déterminé nos prédécesseurs à renoncer, dans tout le Nord-Est

(1) La régénération du chêne est *beaucoup* plus facile sur les terrains siliceux ou silico-argileux. Ce sont les forêts des terrains argileux compacts que nous envisageons surtout dans ce paragraphe.



de la France, à traiter les forêts en futaie pleine (1), c'est-à-dire à constituer des exploitations de peuplements à long terme. Ils avaient imaginé, en vue des conditions spéciales à cette région, les *taillis-sous-futaie*, exploitation mixte d'un type essentiellement français, qui reste, aujourd'hui encore, le plus répandu dans notre patrie (2).

Lorsque les bois de feu ont commencé à être menacés par la concurrence des combustibles minéraux, on s'est, avec raison, préoccupé de substituer aux taillis composés un type de forêt ne produisant qu'un minimum de bois de feu et le plus possible de bois d'œuvre. Deux solutions ont été adoptées à cet effet.

Dans les forêts de l'Etat on a généralement entrepris de *convertir* les taillis-sous-futaie en futaies pleines au moyen d'opérations appropriées. La technique des conversions a été laborieusement échafaudée, de toutes pièces, non sans quelques tâtonnements, par les forestiers français du XIXe siècle. Faciles sur les terrains où le hêtre domine (ce sont ordinairement, dans le Nord-Est de la France, des sols calcaires peu profonds ou quelquefois des terrains siliceux), les conversions le sont beaucoup moins dans les plus beaux massifs, croissant sur terrains argileux ou argilo-marneux, où prédomine le chêne, en compagnie des bois blancs. Là les conversions ont donné beaucoup de mécomptes. Les forestiers du siècle dernier se sont heurtés aux mêmes difficultés qui avaient rebuté ceux du XVIIIe et du XVIIe, et à d'autres encore provenant d'une pratique prolongée du taillis-sous-futaie. Aussi a-t-on fini par prendre le parti, dans beaucoup de ces forêts, d'abandonner les conversions et de revenir au taillis (3). Les tentatives avortées de conversion ont mis en

(1) On avait fait des tentatives nombreuses dans ce sens, au moins en dehors de la Lorraine où le taillis sous futaie est très ancien, jusque vers le milieu du XVIIIe siècle. Vers 1760 encore, le grand maître des Eaux et Forêts à Dijon, M. de Marisy, avait fait diviser la forêt de Chaux en séries de 100 coupes annuelles, destinées à être exploitées en futaie pleine.

(2) Nous reviendrons avec des détails, dans le IIIe volume, sur l'histoire des méthodes d'aménagement en France.

(3) De 1876 à 1892, cent quarante et un mille hectares de forêts domaniales, autrefois en conversion, ont été rendus au taillis-sous-futaie. L'étendue des

désordre un très grand nombre de nos meilleurs massifs, et les ont réduits à un état trop souvent fâcheux dont ils auront à souffrir pendant longtemps encore.

Ailleurs on a cru bien faire en substituant au taillis-sous-futaie ce qu'on a appelé la futaie-sur-taillis, c'est-à-dire en multipliant le plus possible le nombre des arbres de réserve dans les taillis composés. On ne s'est pas rendu compte de ce fait qu'en exagérant la part de la réserve on anéantissait le taillis, c'est-à-dire qu'*on tarissait la source du recrutement des baliveaux*. Les taillis-sous-futaie deviennent progressivement, sous l'influence de balivages exagérés, des quasi-futaies irrégulières, surmontant un taillis chétif, formé surtout de morts-bois, d'où le chêne a entièrement disparu. Agés de trente ans, les taillis paraissent à peine en compter six ou huit.

Ce système des balivages ultra-intensifs a d'abord été pratiqué dans les forêts de l'Etat, dans les cantons traités provisoirement en taillis composé et destinés à une conversion ultérieure. Là il était justifié. Mais petit à petit il a gagné même les taillis-sous-futaie permanents, non seulement communaux, mais aussi particuliers. Combien n'avons-nous pas vu de ces forêts où des opérateurs imprévoyants ont marqué, depuis une trentaine d'années surtout, 200 et même 300 baliveaux de l'âge à l'hectare ! Lorsque ces baliveaux sont des chênes (ce cas est fort rare) ou même des charmes, le mal n'est pas irréparable. Un recépage systématique des trois quarts des modernes à la prochaine exploitation pourra, sans doute, reconstituer un taillis où l'on verra réapparaître au bout de quelque temps, surtout si l'on intervient par plantation, des chênes qui permettront de reconstituer une réserve. Mais quand ces baliveaux ou ces modernes surabondants sont des hêtres, la situation est très grave, au point de vue du maintien du mode de traitement. On se verra forcé, après une ou deux révolutions, d'effectuer la conversion en futaie malgré soi, en régénérant par la semence le massif clos des jeunes hêtres,

taillis en conversion était de 283.000 hectares en 1868, de 290.000 en 1876 et de 149.000 en 1892 (dans les forêts de l'Etat).

d'où auront progressivement disparu les derniers gros chênes que le régime antérieur avait produits, et dont la densité excessive de la jeune futaie de hêtre a empêché le recrutement. Cette question a une telle importance, et les dégâts produits *dès à présent* dans beaucoup de forêts par des balivages irréfléchis sont si grands que nous n'hésitons pas à y insister ici, bien qu'un peu hors de propos, sauf à y revenir plus tard lorsque nous parlerons, au tome III, des plans de balivage dans les taillis-sous-futaie. Nous devions justifier, au moins sommairement et par voie d'affirmations, cette déclaration que *la futaie sur taillis, telle qu'on la pratique lorsqu'on marque 200 à 300 baliveaux de l'âge dans des taillis composés aménagés à 25 ou 30 ans, est un non-sens* et aboutit tôt ou tard à une impasse dont il devient difficile de sortir.

Le taillis-sous-futaie comporte une part faite au taillis, part assez importante pour que ce taillis puisse prospérer, même lorsque, immédiatement avant une coupe, le couvert des réserves a atteint son maximum. Cela est fâcheux, sans doute, au point de vue de la production du bois d'œuvre, mais c'est inévitable.

II. — Définition de la futaie claire.

Il nous semble cependant qu'il est possible de concevoir un type de forêt, plus facilement réalisable dans le Nord-Est de la France que la futaie pleine, et plus productif en bois d'œuvre que le taillis-sous-futaie. C'est à ce but que nous visons en esquissant ici un genre d'exploitation que nous appellerons du vieux mot de FUTAIE CLAIRE, que nos prédécesseurs ont souvent employé pour désigner les chênes qu'ils élevaient, à l'état isolé, au-dessus de leurs taillis.

Supposons une forêt divisée en quinze parquets qui seront parcourus successivement en une *rotation* de quinze ans (1), de

(1) Cette durée de 15 ans paraît convenable pour le chêne, dans les terrains argileux frais du N.-E. de la France. On pourrait du reste la réduire si les circonstances l'exigeaient.



manière que chacun d'eux *revienne en tour* d'être exploité à quinze ans d'intervalle.

Dans le premier, celui qui va être exploité cette année, nous avons des arbres de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 et 120 ans. Dans le second, celui de l'an prochain, les mêmes éléments plus jeunes d'une année; des arbres de 14, 29, 44, 59, 74, 89, 104 et 119 ans, et ainsi de suite jusqu'au dernier parquet, le quinzième, qui portera des arbres de 1, 16, 31, 46, 61, 76, 91 et 106 ans.

Les arbres de 15, 30, 45 ans, etc., du parquet en tour forment autant de catégories d'âges auxquelles nous substituerons, pour les mêmes raisons exposées ci-dessus à propos des forêts jardinées, des catégories de diamètres. Cela sera d'autant plus facile que nos arbres, isolés, ont un accroissement en diamètre presque uniforme lorsqu'ils ont dépassé la première phase de leur vie (voir fig. 61). Nous aurons donc des arbres de 1re, 2e, 3e, 4e, 5e, etc., catégories dont les diamètres seront, par exemple, 8, 16, 24, 32, 40, etc., centimètres.

Ces arbres sont confusément mêlés, de manière à ce que, sur tous les points, il se trouve des sujets fertiles et que les semis puissent, par conséquent, être produits partout et à tout moment. *Nous arriverons ainsi à tirer un parti complet de toutes les glandées partielles, et même des fructifications individuelles.* C'est là un avantage inappréciable pour le traitement d'une essence qui ne donne que très rarement, dans le Nord-Est de la France, des fructifications générales.

De plus ces arbres sont isolés, c'est-à-dire qu'ils ne forment pas un massif continu, complet, à un seul étage. Entre les plus grands, se trouvent des intervalles, d'importance déterminée par le tempérament de l'essence, par le besoin de lumière des semis, où croissent des arbres plus petits, et où se forment des semis.

A défaut d'autre indication nous admettrons que chaque catégorie doit occuper une surface de terrain égale dans la forêt. Si nous en avons dix, chacune couvrira, par hectare, mille mètres carrés. Dans les forêts de chêne, auxquelles nous songeons

surtout en décrivant ce type d'exploitation, on devra, pour plus de sûreté, laisser une portion de l'étendue inoccupée, même dans la coupe en tour, par le matériel des arbres, de manière à faciliter la naissance et le maintien de semis qui y croîtront mélangés à une *souille*, à des morts bois et quelques rejets de souche.

Lorsque le moment de la coupe sera venu, on abattra dans toutes les catégories les arbres les moins beaux et les moins vigoureux qui s'y trouveront en excédent du nombre normal assigné à la catégorie. En même temps on recépera les jeunes semis mal conformés ou manquant de vigueur, et on dégagera les autres par un recépage radical de la *souille* qui croît avec eux dans les intervalles des arbres.

Ce type de forêt présenterait les avantages suivants :

1° *Toutes les glandées*, nous dirions presque tous les glands que la forêt produira *seront utilisés pour la régénération du chêne*, en quelque lieu et à quelque moment qu'elle les produise;

2° Le *retour fréquent des coupes* sur le même point, *qui est un trait essentiel de la futaie claire, assurera le maintien des semis* une fois formés, grâce à leur dégagement périodique;

3° Ce retour fréquent permettra de ne laisser, même après la coupe, que de faibles intervalles entre les grands arbres. *Le matériel des arbres pourra donc occuper une bien plus grande partie du terrain que dans les taillis composés*, sans que son recrutement en soit compromis. Le rendement en bois d'œuvre sera, par suite, augmenté;

4° *Les arbres*, moins éloignés les uns des autres que dans les taillis, *prendront des hauteurs de fûts plus grandes*, ce qui procurera encore une augmentation de la production en bois d'œuvre et facilitera le maintien des semis;

5° Le retour fréquent des coupes sur le même point permettra de réaliser à peu près continûment, à mesure qu'ils se produiront, les arbres viciés, de végétation languissante, les déchets de toute sorte;

6° Les coupes, plus fréquentes, seront chaque fois moins intenses, moins brutales, ce qui est un avantage à plusieurs points de vue, notamment au point de vue de la production des arbres. Celle-ci sera sans doute supérieure, le matériel ne subissant pas, comme dans les taillis composés, à trente ans d'intervalle par exemple, des réalisations qui le réduisent périodiquement à moitié de ce qu'il était auparavant. Le capital ligneux en arbres sera moins variable, plus grand en moyenne, les forces productives seront mieux utilisées;

7° Les coupes d'amélioration des taillis composés (dégagements de semis, éclaircies, émondages), coupes si souvent omises malgré leur utilité, leur nécessité même dans bien des cas, parce qu'elles sont onéreuses pour le propriétaire, ne seront pas spécialement nécessaires. Leur bénéfice résultera de la pratique pure et simple de la coupe unique, fréquemment répétée sur le même point;

8° Les opérations de martelage des coupes, sans être plus difficiles à bien faire que dans les taillis composés, seront, dans tous les cas, clairement, précisément réglementées. Il ne pourra plus dépendre de l'arbitraire d'un homme de changer le mode de traitement de la forêt par une multiplication déraisonnable des baliveaux d'essences secondaires, ou de la ruiner par des abatages excessifs de gros arbres.

III. — Le capital-superficie des futaies claires.

Des mensurations très nombreuses effectuées par plusieurs auteurs (1) et nous-même (2) dans diverses régions du Nord-Est de la France ont fait connaître, d'une façon assez précise, le

(1) *Recherches sur le couvert des arbres de taillis-sous-futaie* par M. Bartet, attaché à la Station de recherches forestières de Nancy (Paris, Imprimerie Nationale, 1892). — *Etudes sur les réserves de taillis-sous-futaie* par M. Galmiche (Besançon, chez Jacquin, 1893). — *Les Taillis-sous-futaie* par M. Watier (*Revue des Eaux et Forêts*, 1896), etc., etc.

(2) *Statistique forestière du département de Meurthe-et-Moselle* (en manuscrit à la Bibliothèque de l'Ecole forestière, 1887).

rapport qui existe ordinairement, chez les arbres réserves de taillis-sous-futaie, entre le diamètre de la cime et celui de la tige à hauteur d'homme, ou entre le couvert de l'arbre, la surface de terrain qu'il occupe dans la forêt, et sa surface terrière.

Ce rapport varie avec la grosseur des arbres. Si nous appelons S la surface du couvert, *s* la surface terrière de l'arbre, nous voyons le rapport $\frac{S}{s}$ diminuer à mesure que *s* augmente. Il varie, par exemple de 900 à 450, du double au simple, lorsque le diamètre varie de 0 m. 20 à 0 m. 70. Cette diminution s'observe non seulement chez les chênes, mais encore chez les hêtres, les charmes et les autres essences. Le rapport $\frac{S}{s}$ paraît du reste peu influencé par les conditions de végétation et la durée de révolution des taillis. Il est peut-être un peu plus élevé pour le hêtre que pour le chêne. Nous pouvons admettre, pour l'ensemble des forêts traitées en taillis, les chiffres suivants :

DIAMÈTRES		SURFACES		RAPPORTS	
à hauteur d'homme d	de la cime D	terrières s	du couvert S	$\frac{D}{d}$	$\frac{S}{s}$
mètres	mètres	m. carrés	m. carrés		
0.20	6.0	0.03	25	30	900
0.25	7.2	0.05	40	28.8	800
0.30	8.4	0.07	55	28	785
0.35	9.5	0.10	70	27.1	730
0.40	10.4	0.13	85	26.0	680
0.45	11.3	0.16	100	25.1	630
0.50	12.1	0.20	115	24.2	585
0.55	12.9	0.24	130	23.4	550
0.60	13.6	0.28	145	22.6	510
0.65	14.3	0.33	160	22.0	480
0.70	15.0	0.385	175	21.4	460

Avec ces données il est facile d'établir, dans l'hypothèse que toutes les catégories doivent couvrir une surface de terrain

égale, quel sera le nombre des arbres des diverses catégories pour un arbre exploitable. On arriverait au résultat suivant :

Diamètre. m.	Nombre d'arbres.	Diamètre. m.	Nombre d'arbres.
0.20	7.0	0.50	1.52
0.25	4.4	0.55	1.35
0.30	3.2	0.60	1.2
0.35	2.5	0.65	1.1
0.40	2.0	0.70	1.
0.45	1.75		

Le couvert total de ces arbres serait de 1925 mètres carrés; si l'on admet que les huit dixièmes au plus du terrain doivent être occupés par les arbres de plus de 0 m. 20 de diamètre il y aurait donc place, à l'hectare, pour quatre suites semblables c'est-à-dire pour

	28	arbres de	0m20
	17.6	—	0.25
	12.8	—	0.30
	10.0	—	0.35
	8.0	—	0.40
	7.0	—	0.45
	6.1	—	0.50
	5.4	—	0.55
	4.8	—	0.60
	4.4	—	0.65
	4.0	—	0.70
Au total	118.1	arbres de	0m.20 à 0 m. 70

En somme, l'hectare porterait, semble-t-il, dans une futaie claire convenablement composée, 110 à 150 arbres de 0 m. 20 à 0 m. 70 de diamètre, présentant une surface terrière de 12 à 15 mètres carrés environ et un volume *de bois d'œuvre* voisin de 100 à 120 mètres cubes; ce dernier néanmoins fort variable suivant la hauteur des fûts qui dépendrait surtout de la qualité du sol.

Ces chiffres peuvent évidemment varier suivant les circonstances. Les surfaces de couvert que nous avons attribuées aux différentes catégories d'arbres peuvent différer plus ou moins, dans une forêt donnée, des chiffres que nous avons admis. Il n'est pas non plus certain que toutes les catégories de diamètre doivent couvrir une surface égale dans la forêt. Enfin il est au moins probable que dans une futaie claire le couvert des arbres, pour un même diamètre, sera moindre que dans un taillis-sous-futaie. Pour toutes ces raisons on doit croire que le matériel pourrait, en fait, comporter sensiblement plus d'arbres, et surtout plus de surface terrière dans une futaie claire, que n'en indique le calcul fait ci-dessus à titre d'exemple.

Ce type d'exploitation, en FUTAIE CLAIRE, n'est encore réalisé nulle part, à notre connaissance (1); il nous paraît appelé, si l'expérience confirme nos prévisions, à rendre de signalés services pour le traitement du chêne dans une grande partie de notre pays. La conversion en futaies claires des forêts de taillis-

(1) Puton a décrit très sommairement (*Traité d'Economie forestière*, tome I, pages 113-114) un type d'exploitation qu'il appelait la *futaie étagée* et qui se rapproche, à certains égards, de la futaie claire. Il en diffère cependant essentiellement par la grande longueur des rotations, ce qui le rend irréalisable pour les essences de lumière et lui enlève la plupart des avantages détaillés ci-dessus comme inhérents à la futaie claire. Les futaies étagées, d'après Puton, seraient surtout avantageuses à créer dans les forêts de hêtres mêlées de sapins.

Gurnaud préconisait, pour le traitement des feuillus, une méthode qui est encore expérimentée en ce moment par nous dans une forêt domaniale des environs de Nancy et qui présente, au moins en apparence, quelque analogie avec la futaie claire. La méthode Gurnaud, telle qu'elle avait été conçue tout d'abord, s'est montrée d'une application à peu près impossible. D'accord avec son auteur, lors du dernier voyage de celui-ci à Nancy, au printemps de l'année 1894, nous avons dû la modifier complètement, en doublant notamment la durée des rotations. La méthode Gurnaud diffère profondément de la futaie claire par la conception de l'état normal de la forêt, assez vague et obscure chez Gurnaud, par le mode de calcul de la possibilité et le mode de son recrutement, c'est-à-dire par ce qu'il y a de plus essentiel et de plus fondamental dans une méthode d'aménagement.

Ajoutons enfin qu'il existe, notamment dans les Ardennes, aux environs de la forêt de Signy-l'Abbaye, des forêts particulières peuplées de chêne, frêne et quelques bois blancs, que leurs propriétaires exploitent (à la possibilité près, qui n'est pas réglée autrement que d'après les besoins) suivant un mode qui se rapproche assez d'une sorte de futaie claire. Aussi ces forêts sont et restent-elles riches en chênes et en frênes, essences qui disparaissent progressivement d'un trop grand nombre de nos taillis-sous-futaie à longues révolutions, surtout lorsqu'on néglige les plantations, les dégagements et les éclaircies dans les taillis. (Renseignement communiqué par M. Cuif.)

sous-futaie présenterait en tous cas, sur leur conversion en futaies pleines, cet avantage immense qu'on pourrait la réaliser graduellement, sans risques ni dégâts. Une pareille conversion n'engagerait même pas l'avenir, car il serait toujours facile, sans perte aucune, de revenir immédiatement au taillis-sous-futaie ancien dans les forêts où elle aurait été entreprise.

En attendant qu'un type plus avantageux, la futaie claire ou un autre, ait reçu la sanction de l'expérience, il faudra continuer à traiter en taillis composé la plus grande partie de nos forêts à chênes du Nord-Est. Il nous reste à examiner le capital de ce dernier type de l'exploitation forestière aménagée.

CHAPITRE IV

LE CAPITAL-SUPERFICIE DES EXPLOITATIONS MIXTES

SOMMAIRE

Rappel de la définition de l'exploitation mixte, aménagée et composée. Les taillis-sous-futaie réalisent exactement ce type.

Matériel d'une forêt aménagée de taillis-sous-futaie. — Elément peuplements. Matériel des arbres. Le capital-superficie de l'exploitation mixte, aménagée et composée résulte, au total, de la juxtaposition, dans la forêt, des capitaux correspondant à autant d'exploitations aménagées simples distinctes qu'il y a de natures de produits différents.

Déchets, produits intermédiaires. Formule générale du matériel en arbres nécessaire et suffisant à la production annuelle d'un revenu déterminé.

Le capital de l'exploitation mixte, aménagée et composée reste invariable avec le temps. Il augmente avec l'âge d'exploitation du taillis, le nombre des arbres et leur âge d'exploitation. Facilité d'augmenter ou de réduire le capital sans détruire l'état aménagé.

Nous avons appelé *mixtes* les exploitations qui fournissent à la fois des arbres et des peuplements, comme les taillis-sous-futaie. Ces exploitations sont presque toujours composées parce qu'elles donnent, au moins dans leur élément arbres, plusieurs catégories de produits principaux. Le taillis-sous-futaie, ou taillis composé, aménagé, qui est la forme de forêt la plus répandue en France, est le type complet d'une exploitation mixte, aménagée et composée.

Soit une forêt destinée à nous donner chaque année :

Du taillis de 30 ans sur un hectare, plus

p arbres de 60 ans,

p' arbres de 90 ans,

et p'' arbres de 120 ans.

Elle devra, pour nous fournir annuellement sa récolte en

taillis, être divisée en trente parquets. Le premier, celui en tour de coupe actuellement, portera :

du taillis de 30 ans,
p arbres de 60 ans,
p' arbres de 90 ans,
p'' arbres de 120 ans.

Ce matériel est suffisant pour la récolte à faire indéfiniment tous les 30 ans en taillis, mais non pas pour celle en arbres. Il faut pour que, dans 30 ans, nous retrouvions celle-ci, que nous ayons de plus, dès à présent :

p arbres de 30 ans,
p' arbres de 60 ans,
p'' arbres de 90 ans.

De même la récolte à faire dans 60 ans exige encore la présence actuelle de

p' arbres de 30 ans,
p'' arbres de 60 ans.

Et enfin celle à percevoir dans 90 ans exige, en plus de ce qui précède, la présence de

p'' arbres de 30 ans.

Nous trouverons donc, dans le parquet en tour, immédiatement avant la coupe :

du taillis de 30 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 30 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 60 ans,
$(p' + p'')$ arbres de 90 ans,
p'' arbres de 120 ans.

Les arbres de 30 ans sont les baliveaux de l'âge, ceux de 60 sont les modernes, ceux de 90 sont les anciens, ceux de 120 les bis-anciens, antiques ou vieilles écorces.

Le deuxième parquet qui devra, l'an prochain, être identique à ce qu'est aujourd'hui le premier, portera :

du taillis de 29 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 29 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 59 ans,

$(p' + p'')$ arbres de 89 ans,
p'' arbres de 119 ans.

Le troisième parquet portera, de même :

Du taillis de 28 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 28 ans,
$(p + p' + p'')$ arbres de 58 ans,
$(p' + p'')$ arbres de 88 ans,
p'' arbres de 118 ans,

et ainsi de suite jusqu'au dernier parquet, le trentième, où nous trouvons :

du taillis de 1 an,
$(p + p' + p'')$ arbres de 1 an,
$(p + p' + p'')$ arbres de 31 ans,
$(p' + p'')$ arbres de 61 ans,
p'' arbres de 91 ans.

Nous avons donc, en somme, dans cette exploitation mixte, aménagée et composée :

1° Le matériel ordinaire d'une exploitation de peuplement aménagée à 30 ans.

2° Un matériel en arbres que nous allons examiner de plus près.

Nous voyons, dans la forêt :

p arbres de		1	an	et p' arbres de		1	an	p'' arbres de		1	an
p	—	2	ans	p'	—	2	ans	p''	—	2	ans
p	—	3	—	p'	—	3	—	p''	—	3	—
p	—	4	—	p'	—	4	—	p''	—	4	—
etc.				etc.				etc.			
p	—	58	—	p'	—	58	—	p''	—	58	—
p	—	59	—	p'	—	59	—	p''	—	59	—
et p	—	60	—	p'	—	60	—	p''	—	60	—
				p'	—	61	—	p''	—	61	—
				p'	—	62	—	p''	—	62	—
				etc.				etc.			
				p'	-	88	—	p''	—	88	—
				p'	—	89	—	p''	—	89	—
				et p'	—	90	—	p''	—	90	—

p''	arbres de	91	ans
p''	—	92	—
	etc.		
p''	—	118	—
p''	—	119	—
et p''	—	120	—

C'est-à-dire trois suites aménagées, autant que nous nous sommes proposé de revenus différents à récolter, chacune de ces suites aboutissant à la production spéciale d'un de ces revenus.

Le capital de l'exploitation mixte, aménagée et composée, est donc formé de la juxtaposition, dans la forêt, des capitaux correspondant à autant d'exploitations aménagées simples distinctes qu'il y a de natures de produits différents.

Remarquons que, dans la forêt de taillis-sous-futaie, les arbres de 1 à 30 ans sont encore, en fait, confondus avec le taillis et n'en seront séparés que lorsqu'ils auront atteint l'âge de 30 ans. Nous pouvons donc n'en pas tenir compte et ne considérer le capital-arbres que comme formé de

p	arbres de	30	ans	p'	arbres de	30	ans	p''	arbres de	30	ans
p	—	31	—	p'	—	31	—	p''	—	31	—
p	—	32	—	p'	—	32	—	p''	—	32	—
	etc.				etc.				etc.		
p	—	58	—	p'	—	58	—	p''	—	58	—
p	—	59	—	p'	—	59	—	p''	—	59	—
et p	—	60	—	p'	—	60	—	p''	—	60	—
				p'	—	61	—	p''	—	61	—
				p'	—	62	—	p''	—	62	—
					etc.				etc.		
				p'	—	88	—	p''	—	88	—
				p'	—	89	—	p''	—	89	—
				et p'	—	90	—	p''	—	90	—
								p''	—	91	—
								p''	—	92	—
									etc.		

p'' arbres de 118 ans
p'' — 119 —
p'' — 120 —

C'est-à-dire de 30 $(p + p' + p'')$ arbres de 30 à 59 ans, ou passant-modernes;

30 $(p' + p'')$ arbres de 60 à 89 ans ou passant-anciens;

30 p'' arbres de 90 à 119 ans ou passant-vieilles-écorces;

Plus p arbres de 60, p' de 90 et p'' de 120 ans qui constituent la récolte.

Ce capital, nécessaire et suffisant en *théorie*, ne suffit pas en *pratique* à cause des déchets dus à la mortalité des arbres qui passent de l'âge du taillis à leur âge d'exploitation. Ces déchets se réalisent, en fait, simultanément avec le revenu, tous les 30 ans dans un même parquet.

Admettons que sur un nombre N d'arbres de 30 ans il en subsiste n en bon état à l'âge de 60 ans. Appelons d le rapport $\frac{N}{n}$, c'est-à-dire le nombre des baliveaux qu'il faut marquer pour obtenir, 30 ans plus tard, un moderne. De même soit d' le nombre de modernes à marquer pour obtenir un ancien et d'' le nombre des arbres de 90 ans à marquer pour obtenir une vieille écorce de 120 ans.

Pour avoir, annuellement, une récolte de p'' arbres de 120 ans il nous faudra donc

$p'' d''$ arbres de 90 ans
$p'' d''$ — 91 ans (1)
etc.

c'est-à-dire $30 \times p'' d''$ arbres passant-vieille-écorce de 90 à 119 ans.

Pour pouvoir réserver annuellement ces $p'' d''$ arbres de 90 ans, il nous faudra :

(1) Nous avons admis que tous les déchets étaient réalisés en une fois, tous les trente ans, au moment de la coupe.

$p'' d'' d'$ arbres de 60 ans;
$p'' d'' d'$ — 61 —
etc.
$p'' d'' d'$ — 89 —

c'est-à-dire $30 \times p'' d'' d'$ arbres passant-anciens de 60 à 89 ans.

Enfin, pour pouvoir réserver annuellement les $p'' d'' d'$ arbres de 60 ans ci-dessus, il nous faudra :

$p'' d'' d' d$ arbres de 30 ans
$p'' d'' d' d$ — 31 —
etc.
$p'' d'' d' d$ — 59 —

c'est-à-dire $30 \times p'' d'' d' d$ arbres passant-modernes de 30 à 59 ans.

Notre troisième suite, celle qui aboutit à la récolte d'arbres de 120 ans, comprendra donc :

$30 \times p'' d''$ arbres de 90 à 119 ans;
$30 \times p'' d'' d'$ — 60 à 89 —
$30 \times p'' d'' d' d$ — 30 à 59 —

plus, au moment de la récolte, les p'' arbres de 120 ans.

De même la deuxième, celle qui aboutit aux arbres de 90 ans, comportera :

$30 \times p'd'$ arbres de 60 à 89 ans;
$30 \times p'd'd$ — 30 à 59 —

Plus, au moment de la récolte, les p' arbres de 90 ans,

Et enfin la première suite, celle qui est destinée à la production des arbres de 60 ans, comportera

$30 \times pd$ arbres de 31 ans à 60 ans;

Plus, au moment de la récolte, les p arbres de 60 ans.

Au total la forêt renfermera en arbres,

$30\ (pd + p'd'd + p''d''d'd)$ arbres de 31 à 60 ans
$30\ (p'd' + p''d''d')$ — 61 à 90 —
$30 \times p''d''$ — 91 à 120 —

plus, au moment de la récolte, p arbres de 60, p' de 90 et p'' de 120 ans qui constituent cette récolte.

Tel est le capital nécessaire et suffisant pour obtenir chaque année :

1° Comme produit principal
p arbres de 60 ans
p' — 90 —
p'' — 120 —
2° Comme déchet ou produit intermédiaire
$p(d-1) + p'd'(d-1) + p''d''d'(d-1)$ arbres de 60 ans,
$p'(d'-1) + p''d''(d'-1)$ arbres de 90 ans,
$p''(d''-1)$ arbres de 120 ans.

Le capital de l'exploitation aménagée, mixte et composée, est évidemment constant, puisqu'il n'est que la somme des capitaux de diverses exploitations aménagées simples lesquels sont eux-mêmes constants.

Sa grandeur varie suivant la nature du revenu que la forêt doit fournir annuellement.

Supposons une forêt destinée à produire chaque année :

Du taillis de n ans, p^2 arbres de $2n$, p^3 arbres de $3n$, etc., p^q arbres de qn ans.

Il est évident que si on augmente n on augmente le capital puisqu'on augmente à la fois tous ses éléments.

De même si l'on augmente l'un des termes p^2, p^3..., etc., ou encore si on augmente q, c'est-à-dire le nombre des catégories d'arbres qui forment le revenu.

Inversement *on peut à volonté réduire le capital, et cela sans détruire l'état aménagé*. C'est là un avantage considérable du taillis-sous-futaie. Cela peut se faire, par exemple, en réduisant q d'une unité ; en coupant tous les arbres âgés de plus de 120 ans dans une forêt aménagée pour produire du taillis de 30 ans, des arbres de 60, 90, 120 et 150 ans. Ce qui restera sera encore une forêt aménagée, mais seulement en vue de la production d'une plus grande quantité de taillis (1) et d'arbres de 60, 90 et 120 ans, ces derniers plus nombreux que dans la forêt primi-

(1) Tout le terrain perdu par la futaie est gagné automatiquement par le taillis qui s'étend aussitôt sur l'emplacement occupé auparavant par les arbres. Il y a, en somme, substitution d'un élément de moindre volume (le taillis) à un autre de volume supérieur (la futaie).

tive. On pourrait encore réduire le capital en coupant, en quantité convenable, des arbres de tous âges dans une des suites qui composent le matériel des arbres.

Le taillis-sous-futaie est, plus que tout autre type actuellement réalisé, une forêt dont le capital, très complexe, se prête à de nombreuses combinaisons, soit pour utiliser une épargne disponible, soit pour liquider des épargnes antérieures, sans que l'état aménagé s'en trouve détruit. On peut en faire une exploitation très intensive, soit en multipliant le nombre des arbres, soit en reculant leur âge de réalisation (1). On peut aussi réduire le capital jusqu'à la limite de ce qu'il serait dans un taillis simple. Aucune autre forêt n'est aussi malléable, aussi souple. Aucune ne convient mieux à un propriétaire particulier qui se trouve tantôt en présence de revenus dépassant ses besoins, qu'il peut incorporer à son capital sans troubler la régularité de la production de ce capital, tantôt en présence de besoins extraordinaires qu'il peut satisfaire en réduisant son matériel immobilisé, sans que le mode de fonctionnement du surplus soit altéré.

(1) Il est bien entendu, cependant, qu'on ne peut pas impunément dépasser une limite maxima pour l'importance à donner à l'élément arbres. Sinon l'on s'expose à anéantir le taillis, c'est-à-dire à tarir la source même du recrutement de la futaie. Il est imprudent de dépasser, pour la part consacrée à la réserve, au moment où elle est le plus développée, les deux tiers de la contenance totale, un peu plus ou un peu moins, suivant les essences et la durée des révolutions. Nous aurons à examiner à fond ces questions, que nous ne pouvons qu'indiquer ici, dans le tome III, à propos des règlements d'exploitation des taillis-sous-futaie.



QUATRIÈME PARTIE

RELATIONS ENTRE LE CAPITAL ET LE REVENU

CHAPITRE PREMIER

LES EXPLOITATIONS PÉRIODIQUES

SOMMAIRE

§ 1. — Rendement absolu.

I. — Rendement-matière

Soit une exploitation périodique de peuplement réglée à l'âge n, c'est-à-dire fournissant périodiquement tous les n ans un

peuplement de volume v_n et considérons un âge N quelconque, multiple de n, tel que l'on ait $N = pn$.

Le revenu récolté en N ans sera pv_n ou $\frac{N}{n} v_n = N \frac{v_n}{n}$, c'est-à-dire que, dans un même temps, le revenu sera d'autant plus grand que $\frac{v_n}{n}$ le sera davantage. Or $\frac{v_n}{n}$ est l'accroissement moyen, à l'âge n, du volume du peuplement qui forme la récolte. Il résulte de là que *si l'on veut obtenir d'une exploitation périodique de peuplements le plus grand rendement en matière possible il faut fixer l'âge d'exploitation à celui du maximum de l'accroissement moyen du volume des peuplements qui forment la récolte.* On appelait autrefois *maximum simple* (1), par opposition au maximum composé dont il sera parlé ci-après, ce maximum du rendement en matière; de nos jours on a pris l'habitude de désigner sous le nom *d'exploitabilité absolue* cette exploitabilité (2) spéciale qui envisage le maximum du rendement en matière.

Ce que nous avons vu dans la IIe partie de cette étude de la grandeur de l'accroissement moyen du volume des peuplements à divers âges, de l'influence sur cet élément des conditions de végétation, de la nature des essences et de la pratique des éclaircies, nous dispensera d'entrer ici dans plus de détails.

II. — Rendement en argent.

Les considérations précédentes, relatives au rendement en matière, se pourraient reproduire, mot pour mot, au sujet du rendement en argent. Il sera maximum dans un temps donné si, pendant ce temps, on récolte le peuplement à l'époque où l'accroissement moyen de sa valeur sera maximum. C'est cette époque que Varenne de Fenille appelait âge du maximum com-

(1) C'est le terme employé par Varenne de Fenille à la fin du XVIIIe siècle.
(2) L'exploitabilité est l'état d'un arbre ou peuplement devenu exploitable, c'est-à-dire remplissant les conditions voulues par son propriétaire pour être abattu et réalisé.

posé; on l'appelle souvent terme de l'exploitabilité économique parce qu'on peut admettre, d'une façon générale, que les bois ont d'autant plus de valeur qu'ils sont plus utiles et que la production de la plus grande valeur réalise aussi celle de la plus grande utilité.

Nous rappelons ici d'une façon particulière l'attention sur l'influence des éclaircies au point de vue du rendement en argent des exploitations périodiques (voir pages 302 et suivantes).

§ 2. — *Rendement relatif. Taux de placement.*

I. — Définitions.

On appelle, d'une façon générale, *taux de placement*, le rapport de grandeur entre un revenu annuel et le capital qui l'a formé. Ce taux peut être constant d'une année à l'autre ou variable. Lorsque le revenu n'est pas détaché chaque année, mais qu'on le laisse s'ajouter au capital pour devenir producteur à son tour, le taux de placement prend le nom de *taux de formation* parce qu'il s'agit moins du *placement* d'un capital, c'est-à-dire de sa mise en valeur en vue d'un revenu annuel, que de la création, de la *formation* d'un capital obtenu en accumulant des revenus dont la consommation est différée.

Lorsqu'on laisse ainsi un capital se former par l'incorporation de sa production pendant un temps donné, le taux de formation peut être constant ou variable.

S'il est variable pendant une période p on appelle *taux moyen de formation* pendant la période p le taux, supposé uniforme, auquel le capital eût dû se former pour présenter, au bout du même temps, le même accroissement total de valeur.

II. — Formules diverses.

Soit t la production annuelle de l'unité d'un capital C_0. La production du capital en un an sera $C_0 t$ et son état, au bout de la première année, sera $C_0 + C_0 t$ ou $C_0 (1 + t)$, ce qui nous

montre qu'un capital qui se forme à un taux t multiplie, en un an, sa valeur primitive par $1 + t$.

Si ce taux de formation est invariable (1), au bout de n ans révolus le capital initial aura été multiplié n fois par $1 + t$ et sera devenu $C_n = C_0 (1 + t)^n$.

Inversement un capital qui se forme depuis n ans à un taux invariable t, et dont la valeur actuelle est C, valait, il y a n ans :

$$\frac{C}{(1+t)^n}$$

L'accroissement total de valeur, r, réalisé par un capital C_0 qui s'est formé à un taux constant t pendant n ans est

$$r = C_0 (1 + t)^n - C_0 = C_0 [(1 + t)^n - 1]$$

Inversement, un capital qui, dans les n dernières années, a produit un revenu r au taux uniforme t est

$$C = \frac{r}{(1 + t)_n - 1}$$

Cette dernière expression est aussi celle du capital susceptible de fournir tous les n ans un revenu r et pour la première fois dans n ans.

Pour faciliter les calculs auxquels donnent lieu les problèmes relatifs aux intérêts composés on a construit des tables qui donnent, pour les différentes valeurs de t et de n utiles à considérer, celles

1° de $(1 + t)^n$ (Tarif I).

2° de $\frac{1}{(1+t)^n}$ (Tarif II).

3° de $\frac{1}{(1+t)^n - 1}$ (Tarif III).

(1) On appelle, dans les cours d'arithmétique, *composition des intérêts* ce mode d'accroissement d'un capital auquel s'ajoute, après chaque année révolue, sa production ou son *intérêt* pour devenir producteur à son tour, et au même taux constant, qui est le *taux de l'intérêt*, qu'on rapporte à cent unités de capital. C'est ainsi qu'une somme d'argent qui *s'accroît à intérêts composés* ou qui est *placée à intérêts composés* au taux de 3 p. 100 est devenue, au bout de dix ans, si C était sa valeur initiale, $C \times 1{,}03^{10}$.

Nous reproduirons ces tables à la suite de la septième étude, où elles seront le mieux placées, étant donné que c'est surtout à propos d'estimations et d'expertises forestières qu'elles sont utilisées.

III. — Taux de placement de l'exploitation périodique.

L'exploitation périodique ne comportant pas de revenu annuel il ne saurait, à proprement parler, être question d'un taux de placement dans le sens indiqué ci-dessus de ce terme.

Nous substituerons à la notion du taux de placement celle du *taux moyen de formation* de la valeur fonds et superficie. C'est-à-dire que si une exploitation périodique dont le fonds a une valeur f produit en n ans une valeur r, nous dirons que son taux de placement est le même que le taux t, invariable, auquel aurait dû s'accroître un capital f placé à intérêts composés pour produire, dans le même temps n, un revenu r. Cela est exprimé par l'égalité

$$f + r = f(1 + t)^n$$

d'où l'on peut tirer $t = \sqrt[n]{1 + \frac{r}{f}} - 1$

En réalité, à aucun moment, pendant les n années, le taux de formation de la valeur n'a été égal à t; il a pu être supérieur ou inférieur. Mais le résultat final est le même que si ce taux avait été constant et égal à t.

Considérons une exploitation périodique immédiatement après la coupe. Le capital est réduit au fonds. La superficie apparaît aussitôt, mais, pendant plusieurs années, sa valeur (1) est nulle, car les frais de la récolte seraient supérieurs au prix de vente des produits. Le capital, envisagé au point de vue de celui qui n'estime les bois que d'après leur valeur pour la consommation, reste donc constant, égal à la valeur du fonds. Après un certain temps, plus ou moins long suivant les circonstances, la valeur

(1) Il n'est question ici que de valeurs pour la consommation, c'est-à-dire du bénéfice net que laisserait la vente du peuplement, après abatage et façonnage.



de la superficie apparaît, puis va en croissant suivant la loi qui lui est propre, et que nous avons étudiée.

Représentons graphiquement cette évolution de la valeur de l'exploitation périodique, fonds et superficie. Portons en abscisses (fig. 124) des longueurs proportionnelles au temps, à partir de l'origine placée au moment de la coupe. Soit OA la valeur du fonds. La valeur de l'exploitation reste égale à OA pendant un temps OC, à partir duquel elle croît de façon à être constituée, à un âge OP, par la valeur du fonds PQ, augmentée de celle de la superficie, QM, au total par MP. En d'autres termes, c'est la ligne mixtiligne, ABM, qui représentera l'évolution de la valeur en fonds et superficie, ou du capital engagé dans l'exploitation.

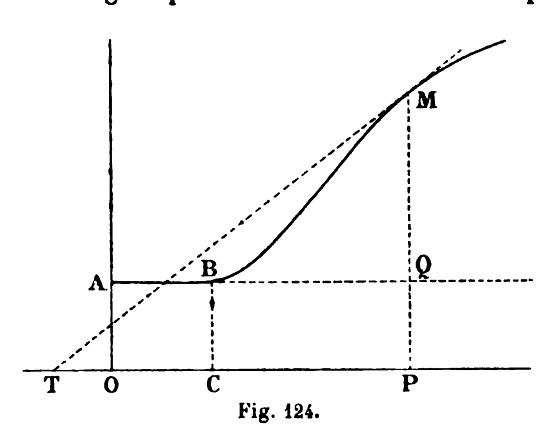


Fig. 124.

Menons au point M la tangente MT qui coupe l'axe des x en T. On a

$$\text{Tg } T = \frac{dy}{dx} = \frac{MP}{PT} = \frac{y}{PT} \qquad \text{d'où } \frac{1}{PT} = \frac{dy}{y}\, dx.$$

Si nous prenons $dx = 1$, c'est-à-dire égal à l'unité de temps, nous avons donc $\frac{dy}{y} = \frac{1}{PT}$, c'est-à-dire que le taux de formation de la valeur à l'âge OP, qui est $\frac{dy}{y}$, est précisément égal à l'inverse de la sous-tangente au point M dont l'abscisse est OP.

Considérons d'autre part une somme d'argent, de valeur égale à celle du fonds, s'accroissant à un taux quelconque t, suivant la loi des intérêts composés. Sa valeur, au bout d'un temps x

sera, en appelant f la valeur du fonds, représentée par OA sur la figure 125.

$$y = f\,(1 + t)^x$$

La ligne courbe tracée en trait interrompu (figure 125), qui représentera la loi de variation de y, sera une courbe logarithmique de la forme $y = a^x$; a étant plus grand que l'unité y va en augmentant indéfiniment avec x. De plus le coefficient angulaire de la tangente va en croissant de plus en plus puisque si

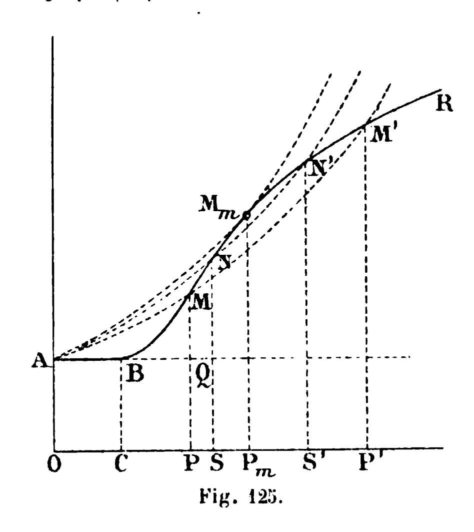


Fig. 125.

$$y = a^x \text{ l'on aura } \frac{dy}{dx} = a^x \log.\, a.$$

C'est-à-dire que ce coefficient angulaire est proportionnel à l'ordonnée.

Enfin la sous-tangente à cette courbe sera une constante, car si

$$\frac{dy}{dx} = \mathrm{K}y, \text{ il en résulte què } \frac{dy}{y} = \mathrm{K}dx.$$

c'est-à-dire que le taux de formation de la valeur, grandeur inverse de la sous-tangente, est une constante.

Ces données préliminaires étant acquises, il est facile de voir sur la figure 125 que, si l'on adopte pour l'exploitation périodique l'âge d'exploitation OP, P étant l'abscisse d'un point d'intersection M des deux courbes, le revenu périodique MQ fourni par la forêt sera le même que celui que donnerait, dans le même temps OP, un capital OA $= f$ placé à intérêt composé au taux t, t étant la valeur qui a servi à construire la courbe en trait

interrompu AMM' dont l'équation est $y = f(1 + t)^x$. En d'autres termes l'exploitation réglée à l'âge OP aura comme taux de placement, ou comme taux moyen de formation de la valeur, ce taux t employé à construire la courbe pointillée.

Nous voyons, au simple aspect de la figure 125, que si la ligne pleine BR, qui figure l'évolution de la valeur du peuplement, a la forme que nous lui avons supposée, il y aura deux âges d'exploitation, OP et OP' auxquels correspondra un même taux de placement t.

A un taux t' plus grand que t correspondrait une courbe ANN' (en trait interrompu) plus relevée au-dessus de l'axe des x, qui donnerait des âges d'exploitation OS plus grand que OP et OS' plus petit que OP'.

Nous en conclurons que.

A des âges peu avancés le taux de placement est faible: qu'il va en augmentant quelque temps avec l'âge; qu'il passe par un maximum (sur la figure 125 à un certain âge OP_m qui correspond à la courbe interrompue AM_m tangente en M_m à la courbe BR); *et que, pour des âges plus avancés, il va de nouveau en diminuant.*

Le taux de placement passe donc par un maximum. Remarquons encore, ce qui découle toujours immédiatement de l'examen de la figure 125, et de ce fait que la sous-tangente aux courbes en trait interrompu mesure le taux moyen de formation de la valeur ou taux de placement, tandis que la sous-tangente à la courbe en trait plein BC menée au point M mesure le taux de formation de la valeur à l'âge OP: *Que le taux moyen de formation de la valeur* (ou taux de placement) *est d'abord, pour des âges peu avancés, inférieur au taux momentané de cette formation; que les deux taux sont égaux au moment où le taux de placement est maximum* (les deux courbes étant tangentes en M_m ont même longueur de sous-tangente); *qu'après le moment du maximum du taux de placement c'est au contraire celui-ci, ou le taux moyen de formation, qui est supérieur au taux momentané.*

Il y a là non seulement une analogie remarquable avec ce que nous avons vu (pages 195 et suivantes) au sujet des relations entre les accroissements annuels et moyens du volume (ou de la valeur), mais encore une remarque qui peut être utile. Elle nous fournit le moyen de reconnaître si, dans une exploitation — le peuplement ayant atteint un âge quelconque n, — le taux momentané de la formation de la valeur fonds et superficie présentant une grandeur θ, — et le taux de placement une valeur t, — l'âge n est en deçà ou au delà de l'âge qui correspond au maximum du taux de placement (1).

Ce que nous venons de dire n'est exact que si nous supposons à la courbe BR, qui représente la loi du développement de la valeur d'un peuplement, la forme que nous avons figurée, et qui est sa forme habituelle. Cette forme peut se trouver beaucoup plus compliquée et il en résulterait, naturellement, une marche différente dans la variation, avec l'âge, du taux de placement. On pourrait, par exemple, avoir à observer plusieurs maxima, un ou plusieurs minima de ce taux. Mais ce sont là des cas particuliers exceptionnels sur lesquels nous pouvons nous dispenser d'insister.

IV. — Détermination du taux de placement. Exemples numériques.

Soit un fonds de forêt dont la valeur est de 400 fr. (2). Si on laisse vieillir jusqu'à 25 ans le peuplement qui va en naître, et que la valeur nette du peuplement de 25 ans soit de 500 fr., le taux moyen de la formation de la valeur, ou taux de placement, sera donné par la formule

$$f(1 + x)^n = f + r$$

ou, en remplaçant les symboles par les chiffres

$$400\,(1 + x)^{25} = 400 + 500$$

(1) Voir l'exemple numérique à la fin de la page 356 et commencement de la page 357.

(2) Les exemples numériques donnés ici n'ont aucun autre but que de rendre plus clairs les exposés et théories qui précèdent. Les nombres adoptés sont quelconques et ne représentent à aucun degré des moyennes, sauf indication explicite du contraire.

$$(1 + x)^{25} = \frac{900}{400} = 2,25$$

Cette équation peut se résoudre par logarithmes

$$25 \log (1 + x) = \log 2,25$$

$$\log (1 + x) = \frac{\log 2,25}{25} = \frac{0,3521825}{25} = 0,0140873$$

$$1 + x = 1,0329$$

$$x = 0,0329 = 3,29 \text{ p. } 100.$$

Il est encore plus simple de se servir de la table I (en appendice à la septième étude). Celle-ci donne la grandeur de $(1+x)^{25}$ pour les valeurs usuelles de x. Nous y voyons immédiatement que si $(1 + x)^{25} = 2,25$ il en résulte que x est compris entre 3 p. 100 et 3,5 p. 100.

Le taux de placement ainsi calculé est un taux de placement *brut* parce que nous n'avons considéré, dans le capital engagé, que deux de ses éléments sur les trois qui le constituent : le fonds et la superficie, négligeant le capital de roulement, c'est-à-dire celui qui sert à rémunérer le travail humain qui collabore à la production (frais d'impôts de garde, de gestion, etc.). Admettons que cette rémunération entraîne une dépense annuelle de 1 fr. 75; intérêts d'un capital de 50 francs par exemple. Pour avoir le taux de placement *net* nous ajouterons cette somme à la valeur du fonds dans l'équation qui nous a servi à calculer le taux. Nous aurons

$$(400 + 50)\ (1 + x)^{25} = 400 + 500$$

$$(1 + x)^{25} = \frac{900}{450} = 2,0$$

$$\log (1 + x) = \frac{\log 2}{25} = 0,0120412$$

$$1 + x = 1.0282$$

$$x = 2,82 \text{ p. } 100.$$

Supposons que l'on veuille vérifier si l'âge d'exploitation adopté dans l'exemple ci-dessus, celui de 25 ans, est inférieur

ou supérieur à celui où le taux de placement est maximum. On comparera le taux moyen de formation de la valeur, ou taux de placement, que nous venons de calculer, au taux momentané de formation à 25 ans (Voir pages 354 et 355). Ce dernier peut s'établir comme suit :

Soit 471 fr. la valeur du peuplement de 24 ans, 531 fr. celle du peuplement de 26 ans et 400 fr. la valeur du fonds. De 24 à 26 ans, en deux ans, la valeur fonds et superficie a passé de 870 à 930 fr.; c'est un accroissement de 60 fr., soit, en moyenne, de 30 fr. par an pendant une période au milieu de laquelle se trouve placé l'âge de 25 ans. La valeur fonds et superficie étant 900 fr. à 25 ans, le taux momentané de la formation sera $\frac{30}{900} = 3{,}33$ p. 100, légèrement supérieur au taux moyen, ou taux de placement (que nous avons trouvé égal à 3,29 p. 100). Nous en conclurons que le maximum du taux de placement n'est pas encore atteint à 25 ans, bien qu'on s'en trouve rapproché.

Soit encore, à titre d'exemple, une exploitation périodique dans la forme du taillis-sous-futaie.

Nous avons une parcelle boisée de 2 hectares où le taillis est coupé tous les 30 ans. L'âge actuel du taillis est de 14 ans.

Un dénombrement des arbres existant nous, révèle l'existence de

10	chênes âgés de	4	fois l'âge d'exploitation du taillis plus	14	ans, soit	134	ans.
25	—	3	—	14	—	104	—
45	—	2	—	14	—	74	—
80	—	1	—	14	—	44	—

plus

4	hêtres âgés de	3	fois l'âge d'exploitation du taillis plus	14	ans, soit	104	ans.
20	—	2	—	14	—	74	—
35	—	1	—	14	—	44	—

plus, enfin,

50 charmes âgés de 1 fois l'âge d'exploitation du taillis plus 14 ans, soit 44 ans.

Cherchons quelle est la valeur du revenu périodique que

nous donne, tous les 30 ans, cette parcelle de forêt. Voyons d'abord le revenu en arbres et, en premier lieu, les chênes.

Le matériel ne comporte aucun arbre ayant dépassé, comme âge, cinq fois l'âge auquel on exploite le taillis. Comme les arbres, coupés en même temps que le taillis, le sont au moment où leur âge est un multiple de l'âge d'exploitation du taillis, cela nous montre que les chênes de 134 ans seront coupés intégralement, d'après le plan de balivage adopté, à l'âge de 150 ans.

De même, de ce que nous avons 25 arbres de 104 ans, passant bis-anciens, tandis que nous n'en avons que 10 de 134, passant tris-anciens, nous concluons que le plan de balivage adopté comporte la coupe, à l'état de bis-anciens, c'est-à-dire à l'âge de 120 ans, de 25 — 10 ou 15 arbres chêne.

Raisonnant encore de même pour les réserves de tous les autres âges et essences nous verrions que le revenu périodique, tous les 30 ans, est, d'après le plan de balivage adopté

Chênes	10—0	arbres de	150 ans	à	70 fr.	l'un ci	700	fr.
	25—10	—	120	—	40	—	600	—
	45—25	—	90	—	15	—	300	—
	80—45	—	50	—	3.15	—	110	—
Hêtres	4—0	—	120	—	25	—	100	—
	20—4	—	90	—	10	—	160	—
	35—20	—	60	—	2	—	30	—
Charmes	50—0	—	60	—	4	—	200	—
Au total							2.200	fr.

Le taillis à récolter sur les deux hectares vaudra, par exemple .... 1.700 fr.

Le revenu périodique total, tous les 30 ans, sera donc .... 3.900 fr.

Evaluons maintenant le capital.

Supposons-nous au moment où une coupe vient d'être faite. Nous avons, dans la forêt, un fonds plus une superficie composée d'arbres réservés.

Le fonds vaut :

2 hectares, à 700 fr. l'un .... 1.400 fr.

La réserve, après la coupe, était formée de tous les arbres que nous avons dénombrés dans la parcelle, mais plus jeunes de 14 ans, c'est-à-dire de

10 chênes de	120 ans	à 40 fr.	l'un	400 fr.
25 —	90 —	15	—	375 —
45 —	60 —	3,15	—	142 —
80 —	50 —	0,80	—	64 —
4 hêtres de	90 —	10	—	40 —
20 —	60 —	2	—	40 —
35 —	30 —	0,80	—	28 —
50 charmes de	30 —	0,80	—	40 —
Total pour la superficie				1.129 fr.
Valeur du fonds				1.400 —
Valeur fonds et superficie				2.529 fr.

Supposons, maintenant, qu'outre le revenu périodique la forêt produit un revenu annuel de 1 fr. 00 par la chasse, des concessions diverses, et que ce revenu annuel soit net, c'est-à-dire reste à 1 fr. 00 déduction faite de toutes charges annuelles.

Nous avons donc, immédiatement après la coupe :

Un capital de 2.529 francs.

Un revenu annuel de 1 fr. 00;

Un revenu périodique de 3.900 fr. à percevoir tous les 30 ans et pour la première fois dans 30 ans.

Le capital peut être considéré comme formé de deux parties : l'une, qui produit un revenu annuel de 1 fr. 00, a par exemple une valeur de 29 fr. (1) Il reste donc, comme capital générateur du revenu périodique, 2.500 fr. Le taux x nous sera donné par l'équation

(1) Cette portion du capital n'est pas engagée dans l'exploitation périodique puisqu'elle correspond à un revenu annuel. Il n'y a pas de raison d'admettre que le capital qui lui répond fonctionne au taux de l'exploitation périodique. Nous avons fait le même raisonnement dans l'exemple précédent où nous trouvions l'exploitation périodique grevée d'une charge annuelle de 1 fr. 75.

$$2500\,(1+x)^{30} = 2500 + 3.900$$

$$(1+x)^{30} = \frac{2500 + 3.900}{2.500} = 2,560$$

$$30 \log.\,(1+x) = \log.\,2,560 = 0.4082400$$

$$\log.\,(1+x) = 0.0137080$$

$$1 + x = 1.0320$$

$$x = 0.0320 = 3,20\ 0/0$$

Remarquons, dans les calculs qui précèdent, l'influence sur la grandeur du taux de placement, de l'existence d'un revenu ou d'une charge annuelle relativement minimes. Si, dans le cas du taillis-sous-futaie, nous avions estimé le revenu net annuel à 4 fr. 50 au lieu de 1 fr. 00, le taux de placement aurait été de 3,27 p. 100 au lieu de 3,20 p. 100. Si nous avions supposé, au lieu d'un revenu net annuel, une charge annuelle de 4 fr. 50, le taux de placement serait tombé à 3,05 p. 100.

On voit par là combien il est intéressant, pour le propriétaire d'une exploitation périodique, de s'efforcer d'obtenir de son domaine quelque revenu annuel, ou tout au moins réalisé à courts intervalles, comme celui que procurent des concessions de menus produits divers. Il est nécessaire, du reste, de ne pas perdre de vue les dangers culturaux des concessions exagérées de feuilles mortes, herbes, etc., dont beaucoup de propriétaires de forêts ne sont que trop tentés d'abuser. Ces extractions, lorsqu'elles sont pratiquées sans modération, amènent un appauvrissement ou même une ruine rapide des forêts.

On peut se proposer de calculer le taux de placement dans le cas d'une exploitation qui fournirait, en plus du produit principal r à n ans, un produit d'éclaircie e à percevoir lorsque le peuplement est âgé de p ans.

Le produit d'éclaircie est aussi un revenu périodique à percevoir tous les n ans, comme le produit principal, mais son époque d'échéance n'est pas la même. Il se perçoit quand le peuplement a l'âge p, c'est-à-dire $n - p$ années avant le revenu fourni

par le peuplement principal. A l'époque où celui-ci vient à échéance le revenu intermédiaire e, disponible depuis n-p années, et confié depuis ce temps à un banquier qui en sert un intérêt θ, sera devenu $e\ (1 + \theta)^{n-p}$, de sorte que la valeur totale du produit à percevoir tous les n ans après une coupe principale est

$$r + e\ (1 + \theta)^{n-p}$$

et le taux de placement t est donné par la formule

$$f = \frac{r + e\ (1 + \theta)^{n-p}}{(1 + t)^n - 1}$$

dans laquelle f représente la valeur du fonds.

Il convient de remarquer que le taux t, déduit de cette équation, n'est plus un taux de placement forestier. Il ne dépend pas seulement de la grandeur des capitaux engagés dans l'exploitation forestière et de leurs revenus, mais aussi de l'intérêt θ servi par un banquier pour des capitaux qui lui ont été confiés. Cette dernière grandeur n'a rien de commun avec le mode de fonctionnement du capital forestier.

CHAPITRE II

EXPLOITATIONS AMÉNAGÉES DE PEUPLEMENTS

SOMMAIRE

§ *1.* — ***Rendement absolu.***

I. — Rendement en matière

Une exploitation de peuplement réglée à l'âge n comporte n parquets égaux en étendue et portant des bois de 1 à n ans. La récolte occupe donc, si S est la contenance totale, une surface $\frac{S}{n}$. Si V_n est le volume, à l'hectare, du peuplement exploitable, le volume de la récolte sera

$$\frac{S}{n}V_n \text{ ou } S\frac{V_n}{n}$$

et le revenu de la forêt, à l'unité de surface, sera $\frac{V_n}{n}$. C'est-à-

dire que la *rente-matière* (on appelle ainsi le produit en matière par hectare et par an) est d'autant de mètres cubes qu'en comporte l'accroissement moyen du volume des peuplements-récolte à l'âge d'exploitation adopté.

Si nous voulons obtenir de la forêt le plus grand rendement en matière possible nous devrons donc l'aménager à l'âge auquel les peuplements présentent l'accroissement moyen maximum. Ce sera le terme du maximum simple, ou de l'exploitabilité absolue.

Si la forêt, en même temps que des produits principaux, donne aussi des produits intermédiaires, ceux-ci sont réalisés tous les dix ans, par exemple, sur un même parquet et, dans l'ensemble de la forêt aménagée, chaque année dans un parquet sur dix.

Soient e_{10} e_{20} e_{30} e_{40} etc., les produits d'éclaircie fournis par les bois de 10, 20, 30, 40 ans, etc., à l'unité de surface parcourue. Leur somme, chaque parquet ayant une étendue $\frac{S}{n}$, sera

$$\frac{S}{n}\,(e_{10} + e_{20} + e_{30} + e_{40} + \ldots) \qquad \text{ou bien}$$

$$10\,S\,\frac{e_{10} + e_{20} + e_{30} + e_{40} + \ldots}{\frac{n}{10}}$$

Le numérateur est formé d'une série de $\frac{n}{10}$ termes dont la grandeur va en croissant (voir pages 270 et suivantes), passe par un maximum, puis diminue.

Leur moyenne arithmétique, quand leur nombre augmentera, passera donc aussi par un maximum, c'est-à-dire qu'il y aura une valeur de n, l'âge d'exploitation, pour laquelle le rendement-matière de la forêt en produits d'éclaircie sera le plus grand possible. Cet âge est toujours assez avancé, même lorsque les produits intermédiaires sont réduits à leur minimum. Lorsqu'ils ont de l'importance, comme dans les forêts éclaircies, on n'a pas l'occasion d'observer un maximum pour la grandeur

des produits intermédiaires. Leur quantité, à l'unité de surface de la forêt aménagée, va en augmentant indéfiniment quand l'âge d'exploitation augmente, toutes choses invariables du reste.

Il en résulte que, dans les forêts éclaircies, le terme de l'exploitabilité absolue se trouve beaucoup plus reculé que dans les autres. On peut couper à des âges plus avancés, sans rien perdre pour cela sur la quantité du revenu en matière.

II. — Rendement en argent.

Ce que nous venons de dire du rendement en matière se répéterait, mot pour mot, au sujet du rendement en argent. Le maximum de la *rente* (revenu en argent par hectare et par an) est obtenu dans la forêt en adoptant, comme âge d'exploitation, celui auquel l'accroissement moyen de la valeur des peuplements est maximum. Cet âge, qui marque le terme de *l'exploitabilité économique*, est toujours très avancé; nous avons vu (1) que très souvent il se plaçait bien au delà des limites que nous assignons à la vie des peuplements.

A plus forte raison en sera-t-il ainsi dans la forêt où l'on pratique des éclaircies.

Aussi peut-on dire que, d'une façon générale, *la rente fournie par une exploitation aménagée de peuplements va en augmentant indéfiniment avec l'âge d'exploitation.*

§ 2. — *Rendement relatif, ou rapport du revenu au capital.*

I. — Rendement en matière. Taux Masson.

Une exploitation aménagée de peuplements présente un capital-superficie invariable et un revenu-matière constant. Le rapport du volume du produit principal à celui des bois sur pied est une grandeur que nous désignerons sous le nom de *taux Masson* (2).

(1) Voir page 299.
(2) Masson (Henri-Théodore-Auguste), né à Abévillers (Doubs) en 1824, élève à

Si nous admettons, pour un moment, que les peuplements d'âge 1, 2, 3, 4... $(n-1)$ ans qui constituent le capital-superficie dans une exploitation de peuplements aménagée à n ans ont un accroissement de volume constant et égal à a, leurs volumes seront a, $2a$, $3a$, $4a$... $(n-1)a$ ou au total, $a\,\frac{(n-1)\,n}{2}$ immédiatement après une coupe.

Immédiatement avant la coupe, ce volume total, ou capital-superficie, serait $a + 2a + 3a + 4a + \ldots (n-1)\,a + n\,a = a\,\frac{n\,(n+1)}{2}$.

En moyenne il est $\frac{1}{2}\,a\,\frac{(n-1)\,n + n\,(n+1)}{2} = \frac{a\,n^2}{2}$.

Comme le volume du peuplement-récolte est $a\,n$, le taux Masson, ou rapport du volume de la récolte à celui du matériel, sera $T = 2\,\frac{an}{an^2} = \frac{2}{n}$, formule empirique dite de Masson.

Nous venons de supposer, pour établir la formule de Masson, que l'accroissement du volume était uniforme à tous les âges de la vie d'un peuplement, c'est-à-dire que le matériel, dans la forêt aménagée, si nous le représentons graphiquement suivant le procédé exposé ci-dessus (voir page 313 et figures 121-122) est représenté par la surface d'un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit seraient proportionnels, l'un à la surface de la forêt aménagée de façon à produire des bois de n ans, ou, ce qui revient au même, à l'âge d'exploitation n et l'autre au volume du peuplement exploitable.

Nous savons cependant que, en réalité, ce matériel est figuré

l'Ecole forestière en 1844, chef des commissions d'aménagement des Vosges en 1856, du Jura en 1864, vérificateur général du service des aménagements en 1875, mort en 1876.

Nous ne pouvons préciser la date à laquelle la formule de Masson a commencé à être employée pour calculer la possibilité des sapinières en fonction de leur matériel. Nous savons cependant, de façon très certaine, qu'elle était d'un usage courant dans les Vosges en 1861, et qu'elle n'était déjà plus une nouveauté à cette époque.



non pas par l'aire du triangle rectiligne (1) OMP (voir figure 126), mais par celle d'un triangle mixtiligne ORSMP, la ligne ORSM étant celle qui figure la loi d'évolution du volume d'un peuplement qui passe en n ans de la grandeur zéro à la grandeur MP. Si l'âge n est suffisamment avancé (2), cette ligne courbe présentera une première partie ORQ en dessous, et une seconde partie QSM au-dessus de la droite OM et les aires des deux triangles, rectiligne et mixtiligne, pourront être sensiblement égales.

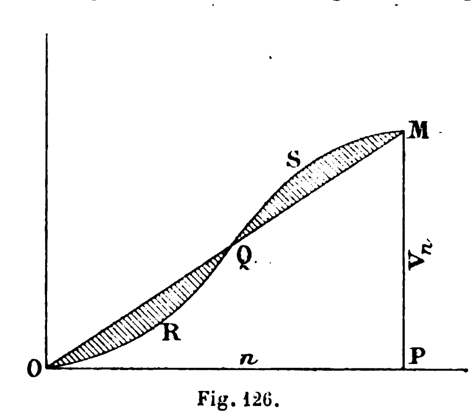


Fig. 126.

C'est ce qui arrive lorsqu'on considère des forêts de sapin dont les âges d'exploitation sont voisins de 140 ans environ. La formule empirique $T = \frac{2}{n}$ donne alors avec une exactitude remarquable le taux Masson, tel qu'on peut le calculer par le moyen que nous allons maintenant exposer.

Recourons à une table, telle qu'une table de production, qui nous donne le volume des peuplements à tous les âges depuis leur naissance jusqu'à l'âge n. En faisant la somme de tous ces volumes, nous pouvons connaître le volume du matériel normal dans une forêt aménagée en vue de la production an-

(1) Soit αn le volume du peuplement exploitable représenté par la longueur MP (fig. 126), l'aire du triangle en question est $\frac{MP \times OP}{2} = \frac{\alpha n \times n}{2} = \frac{\alpha n^2}{2}$ et le rapport du volume de la récolte, αn, à celui du matériel, sera $\frac{2}{n}$.

(2) Il faut évidemment qu'il soit postérieur à l'âge auquel l'acroissement moyen du volume est maximum, âge pour lequel la ligne OM est tangente à la courbe en M (voir page 197).

nuelle d'un peuplement d'âge n. En divisant par cette somme le volume de la récolte, on obtient le taux Masson. Nous avons fait ce calcul pour des forêts de sapin en utilisant les tables de production badoises; voici les résultats que nous avons obtenus :

Valeurs du taux Masson dans une sapinière.

AGE d'aménagement	TAUX CALCULÉ par la formule empirique de Masson $T = \frac{2}{n}$	TAUX CALCULÉ AU MOYEN DES TABLES BADOISES		
		Végétation très bonne	Végétation moyenne	Végétation mauvaise
ans	0/0	0/0	0/0	0/0
50	4.0	5.5	6.3	6.9
60	3.33	4.1	4.7	6.0
70	2.85	3.2	3.7	6.4
80	2.50	2.7	3.0	3.6
90	2.22	2.3	2.5	3.0
100	2.0	2.0	2.2	2.55
110	1.8	1.7	1.9	2.2
120	1.7	1.5	1.7	1.85
130	1.5	1.4	1.5	1.7
140	1.4	1.3	1.4	1.5
150	1.13	1.1	1.2	1.35

On ne manquera pas d'être frappé de la concordance presque parfaite des résultats que donne la formule empirique si simple de Masson et de ceux qu'on obtient à l'aide des tables badoises, au moins pour le sapin, dans des conditions de végétation moyennes et aux âges d'exploitation généralement adoptés.

II. — Taux de placement.

Une exploitation aménagée donne un revenu annuel et constant. D'autre part, son capital est invariable avec le temps. Le rapport entre ces deux grandeurs fixes est le *taux de placement*, le taux d'intérêt que servent les capitaux engagés dans la forêt.

Quand on calcule les taux de placement d'un certain nombre d'exploitations de peuplements identiques à tous les points de

vue, mais dont l'âge d'exploitation est de plus en plus avancé, on constate le fait suivant :

A des âges d'exploitation très bas correspondent des taux de placement très faibles. Lorsqu'on élève l'âge d'exploitation, le taux de placement augmente; bientôt il passe par un maximum à partir duquel il va ensuite en diminuant indéfiniment, de sorte qu'*à des âges d'exploitation avancés correspondent des taux de placement très bas*. Il semble du reste que le maximum, qui se produit souvent vers 60 à 80 ans environ, se présente plus tôt lorsque les conditions de végétation sont favorables que lorsqu'elles sont simplement moyennes.

L'*influence de l'éclaircie* est considérable sur le taux de placement. Elle l'augmente notablement, et retarde l'époque du maximum. Le tableau ci-après, que nous avons établi en nous basant sur des chiffres de rendement publiés récemment par la station de recherches forestières prussienne, le montre assez bien.

Calcul du taux de placement dans des forêts d'épicéa placées dans des conditions moyennes (1).

AGE d'aménagement — Années	CAPITAL ENGAGÉ DANS LA SÉRIE fournissant chaque année un hectare de produit principal			REVENU BRUT ANNUEL de la série aménagée			RAPPORT du revenu total au capital total ou taux de placement 0/0
	Fonds 1 = 100 fr.	Superficie 1 = 100 fr.	Total 1 = 100 fr.	Produit principal 1 = 100 fr.	Sommes des produits intermédiaires 1 = 100 fr.	Produit total 1 = 100 fr.	
			I. — Forêt non éclaircie.				
30	15	2.2	17.2	1.4	»	1.4	0.8
40	20	11.6	31.6	9.4	»	9.4	3 0
50	25	35.6	60.5	24	1.0	25	4.1
60	30	79.5	109.5	44	3.3	47	**4.3**
70	35	139	174	59	6.4	66	3 8
80	40	218	258	79	10	89	3.4
90	45	316	361	98	13	111	3 0
100	50	429	479	113	17	130	2.7
110	55	557	612	128	20	148	2.25
120	60	698	758	141	23	184	2.1
			II. — Forêt éclaircie.				
30	15	2.3	17.3	1.5	0.2	1.7	0.9
40	20	10.8	30.8	8.6	1.4	10	3.2
50	25	32	57	21	3.8	25	4.4
60	30	69	99	37	8.2	45	**4.5**
70	35	122	157	53	14	67	4.3
80	40	188	228	67	23	89	4.0
90	45	266	311	78	33	111	3.5
100	50	352	402	86	44	130	3.2
110	55	442	497	90	57	147	2.95
120	60	536	596	94	69	163	2.7

(1) Pour établir ce tableau nous avons procédé de la manière suivante :

Pour un âge d'aménagement déterminé, 70 ans par exemple (1re colonne), la série devant fournir chaque année, comme produit principal, 1 hectare de bois de 70 ans présentera, comme capital (4e colonne).

1° La superficie ou les bois en croissance dans la forêt, c'est-à-dire 1 hect. de bois de 1 an, 1 hect. de bois de 2 ans, 1 hect. de bois de 3 ans..., etc... (3e colonne).

2° 70 hect. de fonds nécessaires pour porter tous ces bois (2e colonne).

Le revenu se composera (7e colonne).

1° Du produit principal, 1 hect. de bois de 70 ans (5e colonne).

2° De toute la série des produits intermédiaires récoltés dans les peuplements de 30, 40, 50, 60 ans (6e colonne).

Le taux de placement (dernière colonne) est le rapport du revenu total (7e colonne) au capital total (4e colonne).

La valeur des peuplements et produits de chaque âge a été empruntée aux tables prussiennes ; nous leur avons fait subir une réduction de 20 p. 100. Pour le

Un calcul analogue nous montrerait pour des conditions de végétation très bonnes :

Taux de placement de la forêt d'épicéa aménagée à :

	Non éclaircie.	Eclaircie.
20 ans.....	0.7 p. 100.....	0.7 p. 100.
30 —	2.5 —	2.5 —
40 —	3.7 —	4.0 —
50 —	4.3 —	4.5 —
60 —	4.1 —	4.3 —
70 —	3.7 —	3.9 —
80 —	3.3 —	3.6 —
90 —	3.0 —	3.3 —
100 —	2.6 —	3.0 —
110 —	2.35 —	2.8 —
120 —	2.1 —	2.5 —

Nous voyons ici l'effet économique le plus intéressant des éclaircies. Elles relèvent très sensiblement (de plus de un demi pour cent en moyenne) le taux de placement de l'exploitation et leur action à ce point de vue est surtout considérable aux âges avancés. Leur pratique permet au propriétaire qui veut obtenir un taux de placement de 3 p. 100 de reculer jusqu'à 110 ans, dans des conditions moyennes, l'âge d'exploitation qui devrait, à leur défaut, être fixé 20 ans plus tôt, à 90 ans.

Nous avons vu que l'exploitation aménagée de peuplements n'est que la juxtaposition d'autant d'exploitations périodiques qu'il y a d'années dans l'âge d'exploitation. Cela étant, il semble bien que le taux de placement de l'exploitation aménagée devrait être le même que celui d'une des exploitations périodiques qui la composent, car si dans un ensemble les diverses parties s'accroissent à un même taux il est clair que le tout s'accroît aussi à ce taux.

Il est nécessaire cependant de se rappeler ici ce que nous

fonds nous avons admis une valeur de 500 fr. l'hectare dans des conditions très bonnes. Voir, pour plus de détails, notre article dans la *Revue des Eaux et Forêts*, année 1903, pages 208 et suivantes.

avons appelé taux de placement dans l'exploitation périodique. Nous n'avons pu le définir qu'en supposant invariable, pendant tout le temps de la croissance du peuplement, le *taux de formation de la valeur fonds et superficie*, et nous avons identifié ce taux de formation uniforme à un taux de placement, parce que ce serait celui auquel fonctionnerait, à intérêts composés, un capital argent donnant les mêmes revenus que la forêt.

Cette convention, qui nous était imposée dans le cas de l'exploitation périodique, par l'absence d'un revenu annuel, n'est pas nécessaire dans le cas de l'exploitation aménagée dont nous pouvons calculer le taux directement, comme nous avons fait ci-dessus. Si nous la faisons cependant, c'est-à-dire si nous admettons que, dans chaque parquet de l'exploitation aménagée, la valeur se forme à un taux fixe pour passer de la valeur f après la coupe à la valeur $f + r$ au moment de la coupe (1), il est certain que le taux de placement de la forêt sera celui auquel s'accroît conventionnellement la valeur de chacun de ses parquets. En d'autres termes, le taux de placement de l'exploitation aménagée sera le même que celui de l'exploitation périodique que constituerait, isolé, l'un de ses parquets. Rien de plus facile, du reste, que de le vérifier.

Soit f la valeur d'un hectare de fonds, r la valeur de la récolte à l'hectare, à l'âge d'exploitation n. Si l'on admet que la valeur d'un parquet s'accroît au taux uniforme θ on aura

$$f(1 + \theta)^n = f + r \text{ ou } r = f\,[(1 + \theta)^n - 1]$$

Le capital sera formé de la somme des valeurs de tous les n parquets. Immédiatement après la coupe il y aura 1 hectare couvert de bois de zéro an dont la valeur sera f, 1 hectare couvert de bois de 1 an dont la valeur sera $f(1 + \theta)$, 1 hectare couvert de bois de 2 ans valant $f(1 + \theta)^2$, etc..., jusqu'au dernier

(1) Nous verrons, dans la 7e étude, que cette convention doit toujours se faire dans les expertises, où l'on doit envisager une modalité spéciale de la valeur que nous appellerons la valeur *erga dominum*.

parquet, le $n^{\text{ème}}$, dont la valeur sera $f\ (1+\theta)^{n-1}$. Nous aurons donc, pour la valeur du taux de placement, t,

$$t = \frac{f\,[(1+\theta)^n - 1]}{f\,[1 + (1+\theta) + (1+\theta)^2 + \ldots + (1+\theta)^{n-1}]}$$

La quantité qui multiplie f au dénominateur est une progression géométrique de n termes dont la somme est

$$\frac{(1+\theta)^n - 1}{1+\theta-1} = \frac{(1+\theta)^n - 1}{\theta}$$

En substituant cette valeur dans l'équation précédente, il vient $t = \theta$, comme il était évident *à priori*.

En fait, nous le savons, la valeur d'un parquet ne se forme pas à un taux invariable. La valeur du parquet âgé de p ans n'est pas $f\ (1+\theta)^p$ si θ est le taux auquel devrait s'accroître un capital f placé à intérêts composés pour devenir $f + r$ en n ans. Ou bien encore, si l'on préfère, le peuplement de p ans n'a pas comme valeur $f\ (1+\theta)^p - f$, mais bien ce qu'on en obtiendrait, tous frais déduits, en l'abattant et en le portant sur le marché. Il ne vaut $f\ (1+\theta)^p - f$ *que pour son propriétaire, si celui-ci le considère comme inséparablement attaché à une exploitation réglée à* n *ans*. C'est sa valeur *erga dominum*, une valeur toute particulière et spéciale, mais qui nous intéressera cependant de préférence à toutes les autres, parce que c'est celle qui doit entrer en ligne de compte, comme nous verrons, dans les expertises forestières.

CHAPITRE III

FUTAIES JARDINÉES ET FUTAIES CLAIRES

SOMMAIRE

§ *1.* — ***Futaies jardinées.***

Rappel de la composition d'une suite normale. Nombre de suites à grouper pour constituer une suite normale aménagée, c'est-à-dire pour avoir un revenu annuel. Exemple numérique. Volume et valeur du matériel de la suite normale aménagée, valeur du fonds qui la porte. Volume et valeur de la récolte. Taux Masson. Taux de placement. Rendement par hectare et par an, en valeur ou en nombre d'arbres. Comparaison avec d'anciens règlements de jardinage du XVIIIe siècle.

§ *2.* — ***Futaies claires.***

Rappel de la composition d'une suite normale. Nombre de suites à grouper pour obtenir une suite normale aménagée. Exemple numérique. Volume et valeur du matériel de la suite normale aménagée, valeur du fonds qui la porte. Volume et valeur du revenu. Taux Masson. Taux de placement. Rendement par hectare et par an, en volume ou en nombre d'arbres.

§ *1.* — *Futaies jardinées.*

Supposons une exploitation jardinée, destinée à produire annuellement, comme produit principal, un arbre de 0 m. 60 de diamètre. Admettons, avec M. Schæffer (1), que, pour un arbre de 0 m. 60, on doive trouver dans la forêt :

8,1	arbres de	0m,20	1,9	arbres de	0m,45
5,2	—	0, 25	1,5	—	0, 50
3,9	—	0, 30	1,2	—	0, 55
3,1	—	0, 35	1,0	—	0, 60
2,5	—	0, 40			

Et qu'il faille 16 ans à un arbre pour passer d'une catégorie

(1) *Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté et Belfort*, volume de 1900, page 529.

à la suivante. Il nous faudra donc, dans la forêt, pour obtenir *annuellement* l'arbre de 0 m. 60, seize suites semblables, c'est-à-dire

130	arbres de	0 m.	20	cubant,	par exemple,	26,0 mètres cubes.
83	—	0	25	—	—	33,3
63	—	0	30	—	—	37,4
50	—	0	35	—	—	39,7
40	—	0	40	—	—	44,0
31	—	0	45	—	—	43,1
24	—	0	50	—	—	45,5
19	—	0	55	—	—	47,9
16	—	0	60	—	—	49,6

Au total 456 arbres de 0 m. 20 à 0 m. 60 cubant 366 mètres cubes.

Si nous disposons de ce matériel nous pourrons couper chaque année dans l'une de nos 16 suites, dont l'ensemble forme la suite aménagée, le nombre d'arbres qui ne sera pas nécessaire pour maintenir au complet la classe supérieure, c'est-à-dire

8,1 — 5,2 = 2,9	arbres de	0 m.	20	cubant	0 mc.	58
5,2 — 3,9 = 1,3	—	0	25	—	0	52
3,9 — 3,1 = 0,8	—	0	30	—	0	48
3,1 — 2,5 = 0,6	—	0	35	—	0	48
2,5 — 1,9 = 0,6	—	0	40	—	0	66
1,9 — 1,5 = 0,4	—	0	45	—	0	56
1,5 — 1,2 = 0,3	—	0	50	—	0	57
1,2 — 1 = 0,2	—	0	55	—	0	50
1 — 0 = 1,0	—	0	60	—	3	10
					7 mc.	45

La production totale annuelle de nos 16 suites normales, formant un ensemble aménagé, serait donc de 7 mc. 45. Le rapport du volume de la récolte (produits principaux et intermédiaires réunis) à celui du matériel sur pied serait $\frac{7,45}{366} = 2,03$ p. 100. Ce rapport va en diminuant quand la dimension du produit exploitable et, par suite, toutes choses restant égales d'ailleurs, la grandeur du matériel augmente. M. de Liocourt (1)

(1) *Op. cit.*, page 28.

admet qu'il est de 3,96 p. 100 dans la forêt aménagée en vue de la production de bois de 0 m. 50 de diamètre comme produit principal, tandis qu'il ne serait plus que de 3,10 p. 100 lorsque la dimension du produit principal passe à 0 m. 80.

Le taux de placement de la forêt normale aménagée est facile à calculer au moyen des données qui précèdent. Admettons les prix suivants :

	Valeur du mètre cube	
	dans la récolte	dans le matériel
Bois de 0 m. 20 à 0 m. 30 inclus......	10 fr.	11 fr.
— 0 35 à 0 45 —	13	14
— 0 50 à 0 60 —	18	18

Nous aurons, pour le revenu annuel,

1 mc. 58 à 10 fr.............	15 fr. 80
1 70 à 14 fr.............	22 10
4 17 à 18 fr.............	65 06
7 mc. 45	113 fr. 00

Le capital-superficie vaudra, de son côté, 5,420. Pour évaluer le fonds il est nécessaire de connaître la surface de terrain occupée par les 16 suites. Les comptages effectués dans la forêt nous montreront, à l'hectare, un matériel correspondant, par exemple, à 14 de ces suites (1). Nous en conclurons que la surface occupée par 16 d'entre elles est $\frac{16}{14} = 1,14$ hectare. Si nous estimons le fonds à 300 fr. l'hectare, la valeur du fonds sera $300 \times 1,14 = 342$ fr.; en y ajoutant 5,762 fr., valeur de la superficie, nous aurons un total de 5.990 fr. pour la valeur fonds et superficie. Le taux de placement sera donc

$$\frac{116}{5.762} = 2.01 \text{ p. } 100.$$

Ce taux de placement n'est pas encore net, car nous n'avons pas compris dans le capital le fonds de roulement. Si nous en

(1) Nous empruntons ces chiffres à la notice précitée de M. Schæffer.

tenons compte, le taux pourra s'abaisser à 1,6 p. 100 environ (1).

Dans les exploitations jardinées comme dans toutes les autres, on verrait le taux de placement diminuer de plus en plus à mesure que la dimension d'exploitabilité, et, avec elle, l'âge d'exploitation et le capital engagé augmentent.

Le capital et le revenu à l'hectare seront faciles à déduire de ce qui précède, puisque nous savons que les 16 suites qui constituent l'unité d'aménagement occupent une surface de 1 h. 14. C'est ainsi que nous verrions que le matériel, à l'hectare, comporte 400 arbres, d'une surface terrière d'environ 36 mètres carrés, d'un volume de 320 mètres cubes dont 120 en bois de 0 m. 20 à 0 m. 35 inclus, et 200 en bois de 0 m. 40 à 0 m. 60.

Le revenu à l'hectare, en nombre d'arbres, serait

Bois de 0 m. 20 de diamètre	2,56	3,68 tiges petite charpente.	
— 0 25	1,12		
— 0 30	0,69	1,75 tiges grosse charpente.	
— 0 35	0,56		
— 0 40	0,50		
— 0 45	0,38	1,69 tiges sciage.	
— 0 50	0,25		
— 0 55	0,19		
— 0 60	0,87		
	7,12		

Le revenu annuel à l'hectare, en chiffres ronds, serait donc de sept arbres dans l'exemple choisi (2), dont moitié petite

(1) Le taux assez bas du placement tient ici surtout à l'extrême lenteur de la végétation dans la forêt de haute montagne que nous avons choisie comme exemple. Les arbres y mettent 16 ans en moyenne pour passer d'une catégorie à la suivante; il en résulte un âge moyen de coupe très avancé. et, comme conséquences inévitables un matériel accumulé relativement considérable et un taux de placement faible. Dans des conditions favorables, dans les Basses-Vosges, par exemple, le taux pourrait s'élever, croyons-nous, à 2,00 ou même 2,50 p. 100.

(2) Ce revenu, nous tenons à y insister, n'est ici précisé que pour servir d'exemple. en vue de la clarté de l'exposition. C'est un rendement *théorique* maximum et il serait souverainement imprudent, en pratique, de taxer la forêt de cette manière. Il faut tenir compte, en pratique, des accidents, des déchets et des

charpente, un quart grosse charpente et un quart sciage. C'est exactement la proportion indiquée par un vieux règlement de jardinage du milieu du XVIII[e] siècle : « Couper 6.000 arbres dont moitié chevrons, un quart de pannes simples ou doubles, et un quart sciages (1). »

§ 2. — *Futaies claires.*

La futaie claire sera d'une étude facile après ce que nous venons de dire de la forêt jardinée. Dans l'exemple numérique qui nous a servi à exposer son mécanisme, nous avions, pour la composition de la suite normale aboutissant à l'arbre de 0 m. 70 de diamètre :

7 arbres	de	0m,20	de diamètre.	1,52 arbre	de	0,50	de diamètre.
4,4	—	0, 24	—	1,35	—	0,55	—
3,2	—	0, 30	—	1,2	—	0,60	—
2,5	—	0, 35	—	1,1	—	0,65	—
2,0	—	0, 40	—	1	—	0,70	—
1,75	—	0, 55	—				

Admettons que dix suites pareilles soient nécessaires pour produire *chaque année* un arbre exploitable, ou bien, ce qui revient au même, que dix années soient employées par un arbre pour passer d'une catégorie à la suivante. L'unité aménagée, composée de dix suites, comportera donc, comme capital-superficie :

erreurs inévitables. toutes causes qui viennent réduire le volume *réel* par rapport au volume *théorique* de la récolte.

(1) M. Guyot cite, dans son livre sur *les Forêts lorraines avant 1789*, plusieurs exemples de règlements de jardinage analogues.

DIAMÈTRE	NOMBRK d'arbres	VOLUME en bois d'œuvre	VALEUR du bois d'œuvre
mètres		mètres cubes	
0.20	70	14	
0.25	44	13.2	43 mc. à 20 fr. = 860 fr.
0.30	32	16	
0.35	25	17.5	
0.40	20	18	56 mc. 5 à 32 fr. = 1.808 fr.
0.45	17.5	21	
0.50	15.2	22.8	
0.55	13.5	25.7	77 mc. à 44 fr. = 3.388 fr.
0.60	12	28.8	
0.65	11	33	70 mc. à 55 fr. = 3.850 fr.
0.70	10	37	
		247	9.906 fr.

La récolte annuelle, de son côté, sera formée de :

DIAMÈTRE	NOMBRE d'arbres	VOLUME en bois d'œuvre	VALEUR du bois d'œuvre
mètres		mètres cubes	
0.20	2.6	0.52	
0.25	1.2	0.36	1 mc. 23 à 18 fr. = 22 fr. 1
0.30	0.7	0.35	
0.35	0.5	0.35	
0.40	0.25	0.23	0 mc. 86 à 30 fr. = 25 fr. 8
0.45	0.23	0.28	
0.50	0.17	0.26	
0.55	0.15	0.28	0 mc. 78 à 40 fr. = 31 fr. 2
9.60	0.10	0.24	
0.65	0.10	0.30	4 mc. à 55 fr. = 220 fr. 0
0.70	0.10	3.70	
		6.87	299 fr. 0

Le rapport du volume de la récolte à celui du matériel sur pied serait de $\frac{6,87}{247} = 2,37$ p. 100.

Le taux de placement se calculerait en divisant la valeur du revenu (1), qui est de 299 fr., par celle du capital qui est :

(1) La nature du revenu se déterminerait par un calcul identique à celui déjà exposé pour l'exploitation jardinée, qu'il paraît inutile de répéter ici.

Capital-superficie........................	9.906 fr.
Fonds : 2ha. 50 (surface nécessaire pour porter les 10 suites formant l'unité aménagée) à 700 fr. l'hectare..................................	1.750
	11.656 —

Le taux serait donc $\frac{299}{11.656}$ = 2,55 p. 100 brut et environ 2, 10 p. 100 net.

Ici encore, comme dans tous les cas, on le verrait baisser à mesure que la dimension d'exploitabilité augmenterait.

CHAPITRE IV

LES TAILLIS-SOUS-FUTAIE

Une forêt traitée en taillis-sous-futaie dont le matériel comporterait :

30 hectares de taillis âgés de 1 à 30 ans,
1.860 passant-modernes de 30 à 59 ans,
960 passant-anciens de 60 à 89 ans,
360 passant-vieilles-écorces de 90 à 119 ans,

aurait comme revenu annuel, d'après ce que nous avons vu précédemment :

1 hectare de taillis de 30 ans,

$$\frac{360 - 0}{30} = 12 \text{ arbres de } 120 \text{ ans,}$$

$$\frac{950 - 360}{30} = 20 \text{ arbres de } 90 \text{ ans, et}$$

$$\frac{1.860 - 960}{30} = 30 \text{ arbres de } 60 \text{ ans.}$$

Il serait évidemment facile de calculer son taux de placement d'après ces donnés. Mais il suffit de faire remarquer que ce taillis-sous-futaie aménagé, exploitation mixte et composée, résulte de la juxtaposition d'une certaine quantité d'exploitations aménagées simples, d'arbres ou de peuplements, ayant chacune son âge d'exploitation spécial, et son taux de placement consécutif.

Suivant l'importance relative, dans l'ensemble complexe qui constitue le taillis-sous-futaie, des exploitations à long ou à court terme le taux de placement de cet ensemble pourra varier dans des limites assez étendues; il sera évidemment d'autant

plus bas que les gros bois formeront une plus grande part du revenu total.

Conclusions de la quatrième partie

De ce qui précède nous voulons retenir un fait qu'il importe de mettre en lumière à cause de l'extrême importance économique et politique de ses conséquences.

Quel que puisse devenir le prix des bois il sera toujours vrai qu'à des âges d'exploitation élevés correspond un taux de placement extrêmement faible. — Un renchérissement des bois de fortes dimensions n'a qu'une action insignifiante pour augmenter ce taux, car, nous le répétons, s'il fait augmenter le revenu il fait aussi augmenter le capital engagé. Aussi les propriétaires particuliers ne sont pas et ne seront jamais des producteurs de gros arbres : assez d'autres emplois offriront toujours, avec une sécurité égale, une bien meilleure rémunération à leurs capitaux. C'est ainsi que des capitaux fournissent encore, avec toute la sécurité possible, même dans le moment de dépression générale des taux de placement que nous traversons, des revenus de 3.10 et même 3.75 p. 100 à de grands capitalistes, tandis qu'une forêt aménagée en vue de produire de gros arbres, à des âges de 150 ou 200 ans, ne fournira que 1 à 1 1/2 p. 100, parfois moins encore, du capital engagé, surtout s'il s'agit de chênes, c'est-à-dire des bois les plus précieux.

Il y a là un fait qui domine toute l'étude du fonctionnement financier des exploitations forestières : la production des gros bois ne rémunère que très faiblement les capitaux qu'on y emploie. Cette vérité si simple, qui découle immédiatement de ce que la récolte en gros chênes met deux siècles à mûrir, a été trop souvent méconnue bien qu'il semble qu'il suffise d'un moment de réflexion pour s'en convaincre. Elle justifie et commande l'existence de forêts domaniales dans un grand pays civilisé : la production des gros bois est aussi indispensable dans l'état actuel de nos sociétés que celle du sucre ou des

tissus de coton, et comme elle est nécessairement onéreuse pour le producteur, c'est un devoir impérieux pour l'Etat que de s'en charger (1).

(1) Il est difficile de préciser le taux de placement des forêts de l'Etat français parce qu'on ignore leur valeur en capital. La loi de finances du 29 décembre 1873 estimait cette valeur à 1.262 millions de francs ; il est probable qu'elle dépasse actuellement 1.500 millions. D'après ces bases, le taux de placement net serait inférieur à 2 p. 100. Ce fait, dont des ignorants ou des gens malveillants et parfois intéressés ont voulu faire un argument contre la propriété domaniale est au contraire sa plus éclatante justification ! Que sont devenues, entre les mains des propriétaires particuliers, les forêts domaniales aliénées depuis la Révolution, pour quelle part contribuent-elles à la production des gros bois, celle qui est d'intérêt public ?

APPENDICE

La table, que nous donnons en appendice à cette étude, est spécialement destinée à faciliter les calculs lors des analyses de tige. Il arrive, dans ces opérations, qu'on ait besoin de connaître les surfaces de cercles dont les diamètres ont été mesurés à un millimètre près; les tables ou tarifs les plus répandus dans le commerce ne suffisent pas à donner cette approximation.

Le dispositif de ces tables est extrêmement simple et ne comporte aucune explication.

Les diamètres sont exprimés en centimètres avec une décimale, c'est-à-dire en millimètres. Les surfaces sont données en centimètres carrés.

Surface de cercles dont le diamètre varie de millimètre en millimètre, de 1 à 999

Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés
		5.0	19,6	**10,0**	78.5	**15,0**	177	**20,0**	314
0.1	0,01	1	20,4	1	80,1	1	179	1	317
2	0.03	2	21.2	2	81.7	2	181	2	320
3	0,07	3	22,1	3	83,3	3	184	3	324
4	0,13	4	22,9	4	84,9	4	186	4	327
5	0,20	5	23,8	5	86 6	5	189	5	330
6	0,28	6	24.6	6	88,2	6	191	6	333
7	0,38	7	25.5	7	89,9	7	194	7	337
8	0,50	8	26,4	8	91,6	8	196	8	340
9	0,64	9	27,3	9	93,3	9	199	9	343
1,0	0,79	**6.0**	28.3	**11,0**	95,0	**16,0**	201	**21,0**	346
1	0,95	1	29.2	1	96,8	1	204	1	350
2	1.13	2	30,2	2	98,5	2	206	2	353
3	1,33	3	31.2	3	100,3	3	209	3	356
4	1,54	4	32,2	4	102,1	4	211	4	360
5	1,77	5	33,2	5	103,9	5	214	5	363
6	2.01	6	34,2	6	105,7	6	216	6	366
7	2,27	7	35,3	7	107.5	7	219	7	370
8	2,54	8	36,3	8	109,4	8	222	8	373
9	2,84	9	37,4	9	111,2	9	224	9	377
2.0	3,14	**7.0**	38,5	**12,0**	113,1	**17,0**	227	**22,0**	380
1	3,46	1	39,6	1	115,0	1	230	1	384
2	3,80	2	40,7	2	116.9	2	232	2	387
3	4,15	3	41,9	3	118.8	3	235	3	391
4	4,52	4	43,0	4	120,8	4	238	4	394
5	4,91	5	44.2	5	122,7	5	241	5	398
6	5.31	6	45,4	6	124.7	6	243	6	401
7	5,73	7	46,6	7	126,7	7	246	7	405
8	6,16	8	47,8	8	128,7	8	249	8	408
9	6,61	9	49,0	9	130,7	9	252	9	412
3,0	7,07	**8,0**	50,3	**13.0**	132,7	**18,0**	254	**23,0**	415
1	7,55	1	51,5	1	134,8	1	257	1	419
2	8.04	2	52,8	2	136.8	2	260	2	423
3	8,55	3	54,1	3	138.9	3	263	3	426
4	9,08	4	55,4	4	141,0	4	266	4	430
5	9,62	5	56,7	5	143.1	5	269	5	434
6	10,18	6	58,1	6	145.3	6	272	6	437
7	10,75	7	59,4	7	147,4	7	275	7	441
8	11,34	8	60,8	8	149,6	8	278	8	445
9	11,95	9	62,2	9	151,7	9	281	9	449
4,0	12,57	**9,0**	63,6	**14,0**	153,9	**19.0**	284	**24.0**	452
1	13,50	1	65,0	1	156,1	1	287	1	456
2	13,85	2	66,5	2	158,4	2	290	2	460
3	14,52	3	67,9	3	160,6	3	293	3	464
4	15,21	4	69,4	4	162,9	4	296	4	468
5	15,90	5	70,9	5	165,1	5	299	5	471
6	16,62	6	72,4	6	167,4	6	302	6	475
7	17,35	7	73,9	7	169.7	7	305	7	479
8	18,10	8	75.4	8	172,0	8	308	8	483
9	18,86	9	77,0	9	174,4	9	311	9	487

Surfaces de cercles dont le diamètre varie de millimètre en millimètre de 1 à 999 (*suite*).

Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés
25,0	491	**30,0**	707	**35,0**	962	**40,0**	1257	**45,0**	1590
1	495	1	712	1	968	1	1263	1	1598
2	499	2	716	2	973	2	1269	2	1605
3	503	3	721	3	979	3	1276	3	1612
4	507	4	726	4	984	4	1282	4	1619
5	511	5	731	5	990	5	1288	5	1626
6	515	6	735	6	995	6	1295	6	1633
7	519	7	740	7	1001	7	1301	7	1640
8	523	8	745	8	1007	8	1307	8	1647
9	527	9	750	9	1012	9	1314	9	1655
26,0	531	**31,0**	755	**36,0**	1018	**41,0**	1320	**46,0**	1662
1	535	1	760	1	1024	1	1327	1	1669
2	539	2	765	2	1029	2	1333	2	1676
3	543	3	769	3	1035	3	1340	3	1684
4	547	4	774	4	1041	4	1346	4	1691
5	552	5	779	5	1046	5	1353	5	1698
6	556	6	784	6	1052	6	1359	6	1706
7	560	7	789	7	1058	7	1366	7	1713
8	564	8	794	8	1064	8	1372	8	1720
9	568	9	799	9	1069	9	1379	9	1728
27,0	573	**32,0**	804	**37,0**	1075	**42,0**	1385	**47,0**	1735
1	577	1	809	1	1081	1	1392	1	1742
2	581	2	814	2	1087	2	1399	2	1750
3	585	3	819	3	1093	3	1405	3	1757
4	590	4	824	4	1099	4	1412	4	1765
5	594	5	830	5	1104	5	1419	5	1772
6	598	6	835	6	1110	6	1425	6	1780
7	603	7	840	7	1116	7	1432	7	1787
8	607	8	845	8	1122	8	1439	8	1795
9	611	9	850	9	1128	9	1445	9	1802
28,0	616	**33,0**	855	**38,0**	1134	**43,0**	1452	**48,0**	1810
1	620	1	860	1	1140	1	1459	1	1817
2	625	2	866	2	1146	2	1466	2	1825
3	629	3	871	3	1152	3	1473	3	1832
4	633	4	876	4	1158	4	1479	4	1840
5	638	5	881	5	1164	5	1486	5	1847
6	642	6	887	6	1170	6	1493	6	1855
7	647	7	892	7	1176	7	1500	7	1863
8	651	8	897	8	1182	8	1507	8	1870
9	656	9	903	9	1188	9	1514	9	1878
29,0	661	**34,0**	908	**39,0**	1195	**44,0**	1521	**49,0**	1886
1	665	1	913	1	1201	1	1527	1	1893
2	670	2	919	2	1207	2	1534	2	1901
3	674	3	924	3	1213	3	1541	3	1909
4	679	4	929	4	1219	4	1548	4	1917
5	683	5	935	5	1225	5	1555	5	1924
6	688	6	940	6	1232	6	1562	6	1932
7	693	7	946	7	1238	7	1569	7	1940
8	697	8	951	8	1244	8	1576	8	1948
9	702	9	957	9	1250	9	1583	9	1956

Surface des cercles dont le diamètre varie de millimètre en millimètre de 1 à 999 (*suite*).

Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés
50,0	1963	**55,0**	2376	**60,0**	2827	**65,0**	3318	**70,0**	3848
1	1971	1	2384	1	2837	1	3329	1	3859
2	1979	2	2393	2	2846	2	3339	2	3870
3	1987	3	2402	3	2856	3	3349	3	3882
4	1995	4	2411	4	2865	4	3359	4	3893
5	2003	5	2419	5	2875	5	3370	5	3904
6	2011	6	2428	6	2884	6	3380	6	3915
7	2019	7	2437	7	2894	7	3390	7	3926
8	2027	8	2445	8	2903	8	3400	8	3937
9	2035	9	2454	9	2913	9	3411	9	3948
51,0	2043	**56,0**	2463	**61,0**	2922	**66,0**	3421	**71,0**	3959
1	2051	1	2472	1	2932	1	3432	1	3970
2	2059	2	2489	2	2942	2	3442	2	3982
3	2067	3	2489	3	2951	3	3452	3	3993
4	2075	4	2498	4	2961	4	3463	4	4004
5	2083	5	2507	5	2971	5	3473	5	4015
6	2091	6	2516	6	2980	6	3484	6	4026
7	2099	7	2525	7	2990	7	3494	7	4038
8	2107	8	2534	8	3000	8	3505	8	4049
9	2116	9	2543	9	3009	9	3515	9	4060
52,0	2124	**57,0**	2552	**62,0**	3019	**67,0**	3526	**72,0**	4072
1	2132	1	2561	1	3029	1	3536	1	4083
2	2140	2	2570	2	3039	2	3547	2	4094
3	2148	3	2579	3	3048	3	3557	3	4106
4	2157	4	2588	4	3058	4	3568	4	4117
5	2165	5	2597	5	3068	5	3578	5	4128
6	2173	6	2606	6	3078	6	3589	6	4140
7	2181	7	2615	7	3088	7	3600	7	4151
8	2190	8	2624	8	3097	8	3610	8	4162
9	2198	9	2633	9	3107	9	3621	9	4174
53,0	2206	**58,0**	2642	**63,0**	3117	**68,0**	3632	**73,0**	4185
1	2215	1	2651	1	3127	1	3642	1	4197
2	2223	2	2660	2	3137	2	3653	2	4208
3	2231	3	2669	3	3147	3	3664	3	4220
4	2240	4	2679	4	3157	4	3675	4	4231
5	2248	5	2688	5	3167	5	3685	5	4243
6	2256	6	2697	6	3177	6	3696	6	4254
7	2265	7	2706	7	3187	7	3707	7	4266
8	2273	8	2715	8	3197	8	3718	8	4278
9	2282	9	2725	9	3207	9	3728	9	4289
54,0	2290	**59,0**	2734	**64,0**	3217	**69,0**	3739	**74,0**	4301
1	2299	1	2743	1	3227	1	3750	1	4312
2	2307	2	2753	2	3237	2	3761	2	4324
3	2316	3	2762	3	3247	3	3772	3	4336
4	2324	4	2771	4	3257	4	3783	4	4347
5	2333	5	2781	5	3267	5	3794	5	4359
6	2341	6	2790	6	3278	6	3805	6	4371
7	2350	7	2799	7	3288	7	3816	7	4383
8	2359	8	2809	8	3298	8	3826	8	4394
9	2367	9	2818	9	3308	9	3837	9	4406

Surface des cercles dont le diamètre varie de millimètre en millimètre de 1 à 999 (*suite*).

Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés	Diamètres — centimètres	Surfaces — centim. carrés
75,0	4418	**80,0**	5027	**85,0**	5675	**90,0**	6362	**95.0**	7088
1	4430	1	5039	1	5688	1	6376	1	7103
2	4441	2	5052	2	5701	2	6390	2	7118
3	4453	3	5064	3	5715	3	6404	3	7133
4	4465	4	5077	4	5728	4	6418	4	7148
5	4477	5	5090	5	5741	5	6433	5	7163
6	4489	6	5102	6	5755	6	6447	6	7178
7	4501	7	5115	7	5768	7	6461	7	7193
8	4513	8	5128	8	5782	8	6475	8	7208
9	4525	9	5140	9	5795	9	6490	9	7223
76,0	4536	**81,0**	5153	**86,0**	5809	**91.0**	6504	**96,0**	7238
1	4548	1	5166	1	5822	1	6518	1	7253
2	4560	2	5178	2	5836	2	6533	2	7268
3	4572	3	5191	3	5849	3	6547	3	7284
4	4584	4	5204	4	5863	4	6561	4	7299
5	4596	5	5217	5	5877	5	6576	5	7314
6	4608	6	5230	6	5890	6	6590	6	7329
7	4620	7	5242	7	5904	7	6604	7	7344
8	4632	8	5255	8	5917	8	6619	8	7359
9	4645	9	5268	9	5931	9	6633	9	7375
77,0	4657	**82,0**	5281	**87,0**	5945	**92.0**	6648	**97.0**	7390
1	4669	1	5294	1	5958	1	6662	1	7405
2	4681	2	5307	2	5972	2	6677	2	7420
3	4693	3	5320	3	5986	3	6691	3	7436
4	4705	4	5333	4	5999	4	6706	4	7451
5	4717	5	5346	5	6013	5	6720	5	7466
6	4729	6	5359	6	6027	6	6735	6	7482
7	4742	7	5372	7	6041	7	6749	7	7497
8	4754	8	5385	8	6055	8	6764	8	7512
9	4766	9	5398	9	6068	9	6778	9	7528
78,0	4778	**83,0**	5411	**88,0**	6082	**93,0**	6793	**98.0**	7543
1	4791	1	5424	1	6096	1	6808	1	7558
2	4803	2	5437	2	6110	2	6822	2	7574
3	4815	3	5450	3	6124	3	6837	3	7589
4	4827	4	5463	4	6138	4	6851	4	7605
5	4840	5	5476	5	6151	5	6866	5	7620
6	4852	6	5489	6	6165	6	6881	6	7636
7	4865	7	5502	7	6179	7	6896	7	7651
8	4877	8	5515	8	6193	8	6910	8	7667
9	4889	9	5529	9	6207	9	6925	9	7682
79,0	4902	**84.0**	5542	**89,0**	6221	**94,0**	6940	**99,0**	7698
1	4914	1	5555	1	6235	1	6955	1	7713
2	4927	2	5568	2	6249	2	6969	2	7729
3	4939	3	5581	3	6263	3	6984	3	7744
4	4951	4	5595	4	6277	4	6999	4	7760
5	4964	5	5608	5	6291	5	7014	5	7776
6	4976	6	5621	6	6305	6	7029	6	7791
7	4989	7	5635	7	6319	7	7044	7	7807
8	5001	8	5648	8	6333	8	7058	8	7823
9	5014	9	5661	9	6348	9	7073	9	7838

SEPTIÈME ÉTUDE

ESTIMATIONS ET EXPERTISES FORESTIÈRES

La clarté est la probité du philosophe.
(VAUVENARGUES.)

PREMIÈRE PARTIE

ESTIMATIONS FORESTIÈRES

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

SOMMAIRE

I. **La valeur.** — Sa définition, ses conditions. Le prix.
II. **Modalités de la valeur.** — La valeur n'est pas une qualité intrinsèque; un objet qui a plusieurs utilisations a aussi plusieurs valeurs. Valeur vraie. Valeurs réelle, de convenance, de consommation, de production, d'avenir.
III. **Détermination de la valeur.** — Prix des mercuriales. Taux de capitalisation, denier.
IV. **Variabilité du taux de capitalisation.** — Les différentes natures de biens ont, à une époque donnée, des taux de capitalisation différents suivant la sécurité du revenu, l'ampleur du marché, la commodité de la gestion, etc. Variation du taux avec le temps. Taux de capitalisation des immeubles, des revenus mobiliers depuis le moyen-âge. Conclusion.

I. — Définition de la valeur.

Un objet a de la *valeur* lorsqu'il est propre à satisfaire à un désir ou à un besoin de l'homme.

L'utilité n'est pas la condition nécessaire de la valeur. Beaucoup d'objets sont inutiles, comme des perles, des diamants, etc., et n'en ont pas moins une grande valeur parce qu'ils sont désirés par un grand nombre de personnes. D'autres même peuvent être nuisibles, comme l'opium à fumer, et ont cependant de la valeur. La seule condition de la valeur d'un objet est sa correspondance à un désir humain.

Beaucoup d'objets, de grande valeur, ne sont pas échangea-

bles, ne peuvent donner lieu à un commerce. Telles sont les forces intellectuelles ou physiques, la santé, objets désirables au premier chef, mais non échangeables. Tels encore certains biens naturels non susceptibles d'appropriation comme la lumière et la chaleur du soleil, l'air atmosphérique, etc. Les économistes disent que ces objets ont une *valeur en usage*. Ceux qui sont susceptibles de commerce ont une *valeur d'échange*, le seule que nous ayons à considérer (1).

La valeur d'échange, ou, pour nous, la valeur d'un objet, s'exprime par son *prix*, au moyen de l'unité monétaire. Le signe monétaire mesure le prix comme le mètre mesure la longueur, le kilogramme le poids.

Le prix d'un objet dépend uniquement du rapport local et momentané entre l'offre et la demande de cet objet. Il ne dépend ni de l'utilité, ni de la rareté; cependant les objets utiles ont des chances d'avoir une valeur plus stable parce que la demande en est plus générale et les objets rares sont souvent plus faciles à échanger parce que leur offre est moins abondante.

II. — Modalités de la valeur.

La valeur d'un objet n'en est pas une propriété intrinsèque, comme son poids, sa couleur ou ses dimensions géométriques. Elle est extrinsèque, subjective, n'existe que dans l'esprit de celui qui considère l'objet. Le volume d'un arbre, sa hauteur, lui sont intrinsèques et ne dépendent en rien de celui qui les mesure : un arbre n'a qu'une hauteur, la même pour tous. La valeur au contraire dépend de celui qui la considère. La vache laitière n'a pas la même valeur pour le fermier que pour le boucher qui la dépècera et la livrera à la consommation. Elle aura, pour ces deux hommes, des valeurs différentes, inégales, et c'est précisément pourquoi elle sortira un jour de l'étable

(1) Turgot, dans son ouvrage *Valeur et monnaie*, a dit très justement : « Valeur... exprime cette bonté relative à nos besoins par laquelle les dons et biens de la nature sont regardés comme propres à nos jouissances, à la satisfaction de nos désirs. »

pour passer à l'abattoir, le jour où sa valeur pour la consommation sera devenue la plus grande des deux.

Un objet peut donc avoir plusieurs valeurs : ce sera toujours le cas lorsqu'il aura plusieurs utilisations. La *vraie valeur sera la plus grande de toutes celles qu'on peut légitimement lui attribuer, eu égard à sa meilleure utilisation.* On peut employer à nourrir du bétail des blés en herbe; ce sera un gaspillage et n'empêchera pas que la vraie valeur de ce blé encore vert et vivant sera celle déduite de la propriété qu'il possède de produire une récolte de grain.

Nous aurons dans cette étude à distinguer diverses espèces de valeur, ou diverses *modalités de la valeur* sur lesquelles nous devons nous arrêter un moment.

On peut distinguer dans un objet, et opposer l'une à l'autre, *la valeur réelle* et la *valeur de convenance.*

La valeur réelle est celle qu'a un objet pour n'importe qui. La valeur de convenance est celle qu'il prend pour une personne qui se trouve, vis-à-vis de cet objet, dans une situation particulière.

C'est ainsi qu'un champ enclavé dans un bois a une valeur réelle, pour n'importe qui, laquelle résulte du revenu net qu'il peut fournir. Pour le propriétaire de la forêt il a une valeur de convenance, plus grande, parce qu'en acquérant ce champ le propriétaire enclavant arrondira son domaine et supprimera une servitude désagréable ou nuisible. C'est ainsi encore qu'un bel arbre, une belle avenue placés devant une maison ont pour le maître de celle-ci une valeur de convenance, d'*affection*, qu'ils n'auront pas pour le marchand de bois.

Ces valeurs de convenance sont souvent très grandes. Elles jouent un grand rôle en matière forestière. La propriété boisée a des attraits particuliers, à cause de sa beauté, de l'agrément et de la facilité de sa gestion, et surtout à cause de la chasse. Nous connaissons un cas dans lequel une forêt entièrement ruinée, mais d'une grande étendue, commodément située, entourée de forêts giboyeuses et giboyeuse elle-même, a été

vendue à une somme tout à fait hors de proportion avec sa valeur réelle à un amateur assez riche qui n'y voyait qu'un terrain de chasse (1). Celle-ci est d'un revenu notable dans beaucoup de forêts : la valeur résultant de sa location est, le plus souvent, une valeur de convenance, sans relation avec celle du gibier considéré comme marchandise.

La valeur de convenance échappe à toute mesure et à tout calcul. Lorsqu'on doit la considérer, en matière d'expropriation par exemple, sa mesure est du domaine du juge, du jury, et non pas de celui de l'expert qui ne peut calculer que des valeurs réelles.

Certains objets sont directement consommables : tels un morceau de pain, une pièce de drap, un stère de bois, etc. Ils ont une *valeur* dite *de consommation* qui est leur seule valeur pour les exemples que nous venons de citer.

D'autres objets ne sont pas consommables et leur valeur résulte de la propriété qu'ils ont de produire des objets consommables. Tel est le champ qui produit du blé. Ils ont une *valeur de production.*

Beaucoup d'autres ont à la fois ces deux valeurs. La vache laitière qui nous a servi d'exemple plus haut est précisément dans ce cas. Elle a une valeur de production pour le fermier et une valeur de consommation pour le boucher. Tel est encore un pommier dans un verger : il a une valeur pour celui qui récolte ses fruits, il en a une autre pour celui qui l'abat et le scie en planches. Telle encore une forêt aménagée; elle a une valeur résultant de ce qu'elle donne un revenu annuel de 10.000 fr., c'est sa valeur de production. Mais elle en a en même temps une autre pour le marchand de biens qui cédera les arbres à un marchand de bois et revendra le sol.

Enfin certains objets présentent, à un degré éminent, cette propriété d'accroître leur valeur avec le temps. Ils prêtent, en

(1) Nous avons eu l'occasion de remarquer, au 1er volume de ces études, que c'est à la passion de nos anciens souverains pour la chasse qu'on doit le maintien dans le domaine national des belles forêts qui se rencontrent dans le voisinage des anciennes résidences royales, autour de Paris ou sur la Loire.

conséquence, à une spéculation qui consiste à les acquérir aujourd'hui en vue de les revendre plus tard, lorsqu'ils vaudront davantage. Leur valeur actuelle est donc double : on peut la déduire de leur valeur pour la consommation immédiate, ou la calculer, l'escompter eu égard à la valeur de consommation future. Cette dernière valeur, escomptée, s'appelle aussi valeur d'*avenir* ou valeur *relative*. C'est ainsi qu'un jeune taureau, par exemple, a, pour le boucher, une valeur de consommation. Il a une valeur d'avenir pour le fermier qui se propose d'en faire un reproducteur. De même un baliveau a une valeur pour un marchand de bois, mais il en a une autre pour le forestier qui le destine à vivre encore cent ans et à être consommé lorsqu'il aura soixante centimètres de diamètre.

Nous venons de citer des objets chez lesquels les deux valeurs, d'avenir et de consommation, existent à la fois et peuvent être très inégales. Chez d'autres la valeur d'avenir existe seule. Tel est un jeune taillis de 5 ans, ou un jeune semis de pin. Il n'a de valeur actuelle qu'eu égard à celle qu'il aura plus tard et ne peut s'estimer qu'à sa valeur d'avenir.

III. — Détermination de la valeur. Taux de capitalisation, denier.

Certains objets, qui donnent lieu à des transactions fréquentes, ont un *prix* certain et banal, résultant de la situation actuelle et locale du marché, connu et accepté de tous, qui est inscrit dans des *mercuriales*. Tels un stère de bois, un cent de fagots, un mètre carré de frises de parquet. Ces valeurs immédiates, certaines, ne peuvent exister que pour des objets d'une nature très simple, parfaitement définie, partout et toujours semblables à eux-mêmes.

Les biens qui ont une valeur de production s'estiment d'après la valeur de leur produit. Tels sont un titre de rente, une maison, un fonds de terre. Souvent, notamment en agriculture, cette production est réglée par le cours des saisons, elle est annuelle. Par analogie on s'est habitué à considérer aussi le

revenu formé en une année par des biens dont la production est continue, comme une mine de houille, une filature de coton, etc., dont les dividendes sont servis annuellement aux actionnaires, propriétaires collectifs.

Entre la valeur du revenu annuel et celle du capital, il existe un rapport qu'on appelle le *taux de capitalisation*. Ce taux n'est autre chose que le revenu fourni en un an par l'unité de capital. Autrefois on avait l'habitude de considérer le capital fournissant l'unité de revenu; le rapport du capital au revenu s'appelait le *denier*. C'est ainsi qu'une ferme qui rapporte 2.000 fr. et dont le revenu se capitalise au taux de trois pour cent, ou au denier 33,3 vaudra $\frac{2.000}{0.03}$ ou $2,000 \times 33,3$ francs. De même une maison vaudra, par exemple, 15 à 20 fois son revenu annuel (1), tandis que le denier employé pour estimer un pré, une terre, sera par exemple de 35.

Pour des biens de cette nature ce n'est pas le prix lui-même, mais le taux de capitalisation ou le denier qui sont fixés par l'usage des transactions. Le taux de capitalisation est extrêmement variable suivant la nature des biens et pour une même nature de biens, suivant la situation économique générale du temps et du lieu où l'on se suppose placé. Ce taux joue un rôle très important dans les estimations forestières et c'est pourquoi nous nous y arrêterons pour analyser, avec quelque détail, les conditions de sa variation.

IV. — Variabilité du taux de capitalisation.

Des biens de nature différente ont des taux de capitalisation différents. Un titre de rente consolidée anglaise se capitalisera, par exemple, au taux de 2,5 pour cent, tandis qu'un titre de rente française se capitalisera à 3 pour cent et un autre de

(1) A Paris les estimations faites en vue de l'application de la loi du 10 juillet 1902, qui impose une taxe de 0.10 pour cent sur le capital immobilier, font ressortir un rapport moyen de 16 entre la valeur des maisons et celle de leur loyer.



rente allemande d'empire au taux de 3,3 pour cent. Une action industrielle s'estimera à douze ou quinze fois son revenu, tandis qu'une bonne ferme vaudra trente ou trente-cinq fois son revenu net annuel. Quelles sont les causes de ces différences?

Ces causes sont assez nombreuses; nous allons examiner les plus importantes en nous bornant à ce qui présente de l'intérêt au point de vue des estimations forestières.

La *sécurité* du revenu est le premier facteur, de beaucoup le plus important, parmi ceux qui influent sur le taux de capitalisation. Plus le revenu paraîtra sûr, plus il aura de valeur, plus le taux sera bas, le denier élevé. Au moyen-âge, les terres s'estimaient au taux de dix pour cent et les maisons, dans les villes, au taux de huit pour cent; c'est qu'alors la sécurité était plus grande dans les villes qu'à la campagne. Aujourd'hui, c'est le contraire; on emploiera un taux moins élevé pour les terres que pour les maisons. Au moyen-âge, le taux des meilleurs placements mobiliers oscillait de vingt à vingt-cinq pour cent l'an, double ou triple de celui des immeubles. C'est qu'on avait peu de confiance dans la bonne foi du débiteur et que la justice de l'époque était lente et défectueuse. Aujourd'hui, le crédit est beaucoup plus facile, les mœurs financières meilleures, et surtout la justice plus prompte et plus certaine. Aussi le taux des placements mobiliers, tout en restant, en général, plus élevé que celui des immeubles, tend-il à s'en rapprocher beaucoup. Une obligation chirographaire sûre ne rapporte pas plus aujourd'hui, à capital égal, qu'une prairie et beaucoup moins qu'une maison.

Pour en revenir aux exploitations forestières, il est certain que toutes ne présentant pas une même sécurité ne doivent pas s'estimer au même taux lorsqu'on veut déduire leur valeur en capital de celle de leur revenu. Une pignada, dont le revenu est aléatoire parce qu'il varie dans des limites extrêmement étendues suivant le prix de la gemme, dont le matériel est de plus très exposé à l'incendie, se capitalisera, toutes choses égales d'ailleurs, à un taux plus élevé qu'une forêt de pin sylvestre. De même un taillis qui ne produit que de l'écorce se capitalisera

à un autre taux, plus élevé, qu'un taillis qui fournirait à la fois un peu d'écorce, des fagots, des bois de corde et des étais de mine. D'une façon générale, plus les produits de l'exploitation seront variés, plus le revenu sera sûr, parce qu'il y aura des chances pour que la baisse d'une catégorie, si elle vient à se produire, soit compensée par la hausse d'une autre catégorie. Les forêts dont le revenu est le plus sûr sont les vieilles futaies de chêne peu exposées aux dégâts d'insectes, d'incendies, chablis, etc., et qui donnent des produits extrêmement variés.

Après la sécurité la *facilité de réalisation* exerce une influence notable sur le taux de capitalisation. Un bien qu'on peut à chaque instant vendre sans délai, sans perte, à un prix connu, qui jouit, comme disent les financiers, d'un *marché étendu*, possède, toutes choses égales d'ailleurs, plus de valeur qu'un bien qui n'a qu'un *marché étroit*. Un titre de rente sur l'Etat français, une obligation d'une de nos grandes compagnies de chemins de fer se capitalisera à un taux plus bas que d'autres créances, d'une sécurité égale, mais d'une vente plus difficile.

L'étroitesse du marché résulte souvent, en matière de produits forestiers, de leur faible valeur à l'unité de poids ou de volume, qui rend le transport onéreux et impossible à grande distance. Des fagots ont un marché plus étroit que des étais de mine, ou des bois d'œuvre de grande valeur qui peuvent s'exporter à distance.

La *commodité*, *l'agrément de la gestion* ont aussi une action sur le taux. Un commerce de détail, plus assujettissant qu'un commerce en gros, se capitalisera à un taux plus élevé, etc.

Le taux ne varie pas seulement suivant la nature des biens, il dépend aussi des conditions économiques générales ; il varie suivant la loi de l'offre et de la demande.

Lorsque les capitaux sont très abondants et peu demandés par l'industrie, par le commerce ou de grands travaux publics, etc., le taux baisse. Lorsque les bénéfices industriels ou commerciaux sont très grands, que de nouvelles sociétés commerciales

se fondent en abondance, que les anciennes s'accroissent et deviennent plus productives, le taux s'élève. Un taux très bas est l'indice d'une stagnation des affaires, ou d'un amoindrissement des bénéfices commerciaux et industriels coïncidant avec une abondance de capitaux disponibles. Un taux élevé indique des bénéfices importants ou bien une pénurie de capitaux; ces deux causes agissent à la fois pour rendre le taux de capitalisation plus élevé en Allemagne qu'en France à l'époque actuelle, bien que l'action des grandes banques tende à niveler le marché en transférant les capitaux des régions où le taux est le plus bas vers celles où il est le plus élevé.

Il résulte de ce qui précède que, pour une même nature de biens, le taux varie avec le temps et les lieux.

Depuis le commencement du XIII[e] siècle, durant tout le XIV[e] et jusque dans le courant du XV[e], on estimait, en France, les *biens fonciers* à dix fois leur revenu. Vers la fin de ce siècle nous voyons employer le denier 12 (taux de 8,33 p. 100). Au milieu du XVI[e] siècle le denier 14 (7,14 p. 100) était habituel, dans la seconde moitié du XVI[e] siècle on voit apparaître le denier 16 (6, 25 p. 100). En Alsace le taux avait baissé plus rapidement qu'en France; il était de 8 ou 8,5 p. 100 de 1360 à 1380 et dès le commencement du XV[e] siècle le taux de 5 p. 100, qui ne s'est guère généralisé en France avant le XVII[e] siècle, était déjà seul employé. Dans la première moitié du XVIII[e] siècle, le taux de placement des immeubles était tombé, en France, à 4 p. 100 et il n'était plus guère que de 3 1/2 p. 100 à la veille de la Révolution (1). Aujourd'hui il est de 3 p. 100 ou même moins encore.

On voit là une tendance très nette à une baisse générale des taux des placements immobiliers; cette baisse est encore beaucoup plus rapide en ce qui concerne les biens meubles.

A Paris, en 1522, le premier emprunt d'Etat français fut émis à 8 p. 100 au pair. Il fallut user de contrainte pour le faire

(1) D'Avenel, *Histoire de la propriété foncière*. Hanauer. *Etudes économiques sur l'Alsace*.

souscrire par les principaux bourgeois et notables; ce taux paraissait insuffisant. Sous Henri III on plaçait son argent, d'une façon sûre, à 6,5 ou 7 p. 100. Au xviie siècle le taux de 6 p. 100 était général pour les placements mobiliers; il était devenu de 5 p. 100 à la fin de ce siècle. Au commencement du xviiie siècle, la baisse fut extraordinairement rapide : nous voyons des taux de 4, de 3 et même de 2 p. 100. Beaucoup d'emprunts furent convertis à cette époque. Mais cette baisse fut passagère, sous Louis XV le taux était remonté à 5 p. 100.

Les chiffres ci-dessous donneront une idée exacte des variations du taux en France dans le cours du xixe siècle. Ils indiquent le taux que font ressortir les émissions publiques de rente par l'Etat français de 1816 à 1901.

Années.	Taux d'émission.		Années.	Taux d'émission.	
1816	8,60	p. 100.	1854	7,81 et 4,69	p. 100
1818	7,52 et 7,45	—	1855	4,61	—
1821	5,79	—	1859	4,83 et 4,00	—
1823	5,58	—	1861	4,32	—
1828	3,87	—	1863	4,50	—
1830	3,92	—	1868	4,32	—
1832	5,06	—	1870 (août)	4,95	—
1841	3,13 et 3,50		1870 (octobre)	7,42	—
1845	3,95	—	1871	6,23	—
1847	3,88	—	1886	3,75	—
1848	5,00 et 6,64	—	1901	3,00	—

On voit que si, d'une façon générale, le taux tend à baisser ce n'est pas cependant sans des oscillations considérables. Abstraction faite de l'influence des événements tels que guerres et révolutions, il est très remarquable que le taux se soit maintenu très élevé (environ 4,5 p. 100 en moyenne) pendant toute la période si prospère du second empire. Ce phénomène tient à la grande demande de capitaux que produisit, vers cette époque, l'essor industriel. On commençait à appliquer la vapeur à l'industrie, on construisait des chemins de fer qui absorbaient des capitaux énormes.

Ce qui précède suffira à montrer combien le rapport du revenu au capital est variable, suivant la nature des biens et, en même temps, suivant les temps pour une même nature de biens. Rien ne permet de prévoir si la baisse presque continue, sauf interruptions, depuis plus d'un siècle, et qui avait atteint son maximum à la fin du siècle dernier, se poursuivra, où elle s'arrêtera, et quel sera le taux de capitalisation dans cinquante ou même dans vingt ans d'ici.

L'impossibilité d'admettre un taux invariable pour une longue période dans l'avenir constitue la principale difficulté, souvent insurmontable, des estimations forestières. Il était nécessaire de la mettre en lumière pour faire ressortir ce que nos estimations ont d'aléatoire dans beaucoup de cas où nous sommes forcés d'escompter au moyen d'un taux, supposé immuable, des revenus qui ne se produiront que dans un siècle ou à des époques plus lointaines encore.

CHAPITRE II

CALCUL DE LA VALEUR D'UNE FORÊT EN BLOC, EN FONCTION DU REVENU.

SOMMAIRE

I. Estimation basée sur le revenu moyen antérieur. Difficultés de ce mode de calcul.
II. Estimation déduite du revenu futur, dans l'hypothèse d'un règlement d'exploitation préalablement établi.

I

Si l'on sait qu'une forêt aménagée produit, année moyenne, un revenu net r, elle vaudra, pour celui qui veut, en l'acquérant, placer ses capitaux au taux t, une somme x telle que $x = \frac{r}{t}$

Rien de plus simple, en théorie, ni de plus exact qu'un pareil calcul.

Remarquons d'abord que la valeur ainsi déterminée est, dans une certaine mesure, une valeur de convenance. Elle n'est acceptable que pour celui qui a préalablement accepté le taux t. Sans doute ce taux n'est pas entièrement arbitraire. Nous renvoyons, pour sa fixation, à ce qui a été dit du taux de capitalisation au chapitre précédent. Mais la difficulté de choisir ce taux ne constitue pas la principale objection à cette méthode d'estimation.

Il y en a une autre qui résulte de la difficulté de connaître le revenu moyen *normal* de la forêt. Sans doute, on peut savoir ce que la forêt a produit *en fait*, mais on n'est jamais sûr que ce revenu corresponde exactement à la grandeur du capital. Il n'est pas très rare de voir des propriétaires qui ne tirent de leur forêt qu'un revenu bien inférieur à son accroissement, qui *thé-*

saurisent, laissant s'accumuler le matériel. C'est là une forme de luxe, qui séduit plus de personnes qu'on ne pense. On se plaît à réduire les coupes, soit par esprit d'économie, soit par ostentation, soit par amour des vieux bois et de leur beauté pittoresque. Les héritiers de pareils propriétaires s'exposent à une singulière déception en vendant la forêt à un marchand de bois sur la base du revenu qu'en tirait leur prédécesseur. Ils verront ce marchand de bois payer son acquisition avec le prix des coupes faites les trois ou quatre premières années, et revendre le surplus aussi cher, peut-être plus cher, qu'il n'a acheté lui-même. Nous avons vu deux fois pareil cas se produire : nombre de commerçants avisés se sont enrichis ainsi aux dépens de propriétaires ignorants, trompés par un faux calcul.

Le cas inverse peut se présenter. On peut très bien, en réduisant progressivement le capital, tirer d'une forêt pendant très longtemps un revenu supérieur à celui qu'elle comporte normalement. L'acheteur qui se sera basé sur ce revenu ira au devant d'une perte d'autant plus grave que les coupes abusives, non seulement sont sans aucun rapport de valeur avec le capital, mais encore tarissent la source même du revenu en détruisant la fertilité du sol.

La valeur d'une forêt ne saurait donc, sans imprudence grave, être déduite de son revenu moyen passé, quand même ce revenu serait connu pour une période assez longue, et qu'il n'y aurait aucune indécision sur le taux de capitalisation à employer.

II

S'il est téméraire de se baser sur le revenu passé pour estimer une forêt, peut-on le faire plus sûrement en se basant sur son revenu futur?

Oui, sans doute, mais à la condition d'introduire une hypothèse dans le calcul. La conséquence de cette hypothèse sera que la valeur ainsi déterminée sera une valeur particulière, exacte seulement dans l'hypothèse qui forme son point de départ.

L'hypothèse nécessaire est celle d'un règlement d'exploitation à adopter pour les coupes de l'avenir. Prenons un exemple du calcul à effectuer.

Soit une parcelle de taillis dont les bois sont âgés actuellement de cinq ans. On veut l'estimer dans l'hypothèse que ces bois seront coupés indéfiniment toujours à l'âge de 30 ans et qu'on exige, en l'acquérant, un revenu de 4 pour cent du capital engagé dans l'opération.

La valeur sera, dans ces hypothèses, celle d'un capital qui, placé à intérêts composés au taux de 4 p. 100, donnera tous les 30 ans un revenu égal à la valeur nette du peuplement de trente ans, soit 900 francs par exemple, et pour la première fois dans vingt-cinq ans, puisque l'âge actuel des bois est de cinq ans.

La valeur x du capital générateur, au taux t, d'un revenu r tous les n ans est, immédiatement après une récolte

$$x = \frac{r}{(1+t)^n - 1}$$

Si cette récolte a eu lieu depuis n' ans, c'est-à-dire si le taillis est âgé de n' ans, la valeur sera $x = \frac{r\,(1+t)^{n'}}{(1+t)^n - 1}$

Remplaçant les lettres par des chiffres il vient

$$x = \frac{900 \times \overline{1,04}^{5}}{\overline{1.04}^{30} - 1} = 900 \times 1,217 \times 0,446 = 489 \text{ fr.}$$

Telle est la valeur de la parcelle boisée, particulière à l'hypothèse faite ci-dessus.

Les calculs d'estimation sont ordinairement plus compliqués que dans le cas que nous venons d'exposer, mais le principe est toujours le même. Il suppose :

1° Un règlement établissant l'époque et la quotité de toutes les coupes à faire dans l'avenir ;

2° L'escompte de tous ces revenus futurs à un taux convenu.

Cette méthode, outre qu'elle ne donne la valeur que dans un cas particulier, prête à de sérieuses objections.

Un règlement d'exploitation très complet doit être adopté préalablement. L'établissement de ce règlement est loin d'être facile dans tous les cas. Suivant la solution qu'on adoptera les revenus de l'avenir (à supposer même qu'ils soient bien déterminés) seront très différents par leur grandeur et leur échéance. Il en résulte que, tout en employant le même taux, deux estimateurs aboutiront à des résultats plus ou moins différents. Il est fort incertain que le propriétaire d'une forêt s'assujettisse plus tard à observer un règlement admis à l'époque où il se proposait d'acquérir la forêt : une foule de circonstances ou d'accidents de force majeure l'en détourneront et il se trouvera ainsi avoir fait un faux calcul.

Un inconvénient plus grave encore réside dans la difficulté d'évaluer avec quelque certitude les revenus futurs en matière, et surtout en argent. Mais l'objection la plus sérieuse est certainement celle qu'on doit faire contre l'emploi injustifié d'un taux immuable pour l'escompte de revenus qui ne seront réalisés que dans un avenir lointain. Nous ne pouvons que rappeler ici les observations par lesquelles se termine le chapitre précédent.

Nous croyons qu'on verra rarement un capitaliste avisé acquérir une forêt en se basant uniquement sur son revenu futur supposé. Ce serait, à notre avis, un véritable acte d'imprévoyance que d'opérer de la sorte. Cependant, l'estimation ainsi faite n'est pas inutile, elle servira de confirmation ou de point de repère pour une estimation plus complète, basée sur une analyse et un inventaire détaillés de la forêt, conformément aux méthodes qu'il nous reste à exposer aux chapitres suivants.

CHAPITRE III

ESTIMATION DES FONDS DE FORÊTS

SOMMAIRE

§ *1. — Estimation par le calcul, ou indirecte, du fonds.*

Eléments constitutifs de la valeur du fonds. Nécessité de déduire la valeur du fonds de celle de son revenu. Difficultés spéciales de la matière.

Formule du fonds. La valeur du fonds est égale à la somme des valeurs escomptées de tous les revenus futurs. Cas où le fonds produit plusieurs natures de revenus à des échéances différentes. Choix du taux d'escompte. L'âge d'exploitation. Terme de *l'exploitabilité commerciale.* Exemple de calcul. Lorsque le fonds est estimé par le calcul le terme de l'exploitabilité commerciale coïncide avec celui de l'exploitabilité financière.

§ *2. — Estimation directe du fonds.*

Valeur du sol. — La valeur du sol doit être établie dans l'hypothèse de son utilisation forestière, et non pas d'après son revenu agricole. Exemples de calcul de la valeur du sol : erreurs que l'on peut commettre en substituant à la valeur ainsi calculée le prix-courant des terres ou des pâtures.

Les frais de boisement. — Les frais de boisement sont sans aucun rapport avec la valeur d'un vieil ensouchement et celle des qualités forestières que possède le fonds d'une forêt ancienne. Différence entre une friche nouvellement plantée et un fonds de forêt. Il faut plus d'un siècle et demi pour créer un fonds de forêt : observations de M. Fliche. La valeur du fonds se décompose en trois éléments dont un seul peut être estimé directement.

§ *3. — Conclusion.*

Aucun des deux modes d'estimation du fonds n'est applicable à tous les cas. L'estimation par le calcul convient aux fonds de taillis. L'estimation directe peut convenir à des fonds de forêts traitées en haute futaie. Même, dans ce dernier cas, il est prudent d'utiliser à la fois les deux modes, lorsque l'estimation doit être faite avec quelque certitude.

Ce n'est que lorsqu'on fait l'estimation de la forêt (1) en escomptant tous ses revenus futurs les plus lointains qu'on

(1) Il s'agit ici d'une forêt, y compris son matériel ligneux. Si l'on fait ce calcul dans l'hypothèse que toute la superficie vient d'être réalisée par une coupe à blanc étoc, le calcul donnera la valeur du capital subsistant après cette coupe, c'est-à-dire du fonds seul.

arrive à un chiffre qui représente la valeur en bloc de tout le domaine, fonds et superficie. Dans tous les autres cas, il est nécessaire de connaître à part la valeur du fonds et cette valeur est de même indispensable en matière d'expertises. Nous allons donc examiner, dans ce chapitre, les procédés d'estimation du fonds considéré isolément.

§ 1. — *Estimation par le calcul, ou indirecte, du fonds.*

I

Nous rappelons ici que nous appelons *fonds* tout ce qui reste dans la forêt après une coupe à blanc étoc de tous les bois qui s'y trouvaient.

Le fonds comprend donc :

1° Le sol, la terre minérale, plus la valeur du travail humain incorporé à ce sol (signes de limite, routes avec leurs travaux d'art, moyens de vidange divers, assiette de l'aménagement (1), fossés d'assainissement, etc., etc.) (2);

2° La valeur du travail des agents naturels qui ont modifié profondément, grâce à la présence de la forêt, la terre vierge

(1) Nous comprenons sous cette dénomination les travaux souvent considérables et dispendieux qui ont été faits pour diviser la forêt en parcelles de contenances déterminées par un réseau de lignes rationnellement étudié.

(2) Certains économistes, comme Carey et Bastiat, ont prétendu à tort qu'en achetant un terrain on ne payait, en somme, que le salaire du travail humain incorporé dans le sol. En réalité, il est certain que la valeur du sol dépend uniquement de son revenu, et non pas de la quantité d'efforts humains qu'a nécessités sa mise en valeur. La valeur du travail humain englouti dans une terre peut être supérieure, égale ou inférieure à la valeur actuelle de cette terre. Dans ce dernier cas il existe une *rente du sol*, dans le sens que Ricardo a donné à ce terme; c'est-à-dire que le détenteur de la terre touche une rémunération des « qualités indestructibles » du sol (fertilité, situation, etc.) qui sont une richesse naturelle, laquelle devrait être gratuite, car le travail de l'homme ne l'a pas formée. Après Ricardo, Stuart-Mill, Proudhon et les socialistes ont beaucoup agité la question de la légitimité de l'appropriation par un individu de cet élément de la valeur du sol qui ne correspond à aucun travail humain. Nous n'avons pas à insister sur ce sujet; mais il était utile de faire remarquer que tous les économistes sont d'accord aujourd'hui pour admettre que la quantité de travail humain incorporé dans le sol n'est à aucun degré la mesure ni l'élément unique de sa valeur; celle-ci résulte simplement du produit le plus avantageux que l'état actuel de nos connaissances permet d'en tirer.

pour lui donner les qualités physiques et chimiques si spéciales d'un terrain forestier, qui y ont répandu des graines, des semis, développé des racines, des souches, etc.

Cet ensemble complexe de valeurs diverses, le fonds, ne peut s'estimer correctement, en théorie, que par son revenu.

Rien de plus facile que d'estimer, sur la base de son revenu, un bien à rendement annuel, une maison, une terre. En forêt la difficulté provient de deux causes :

1° Le revenu n'est pas annuel;

2° Sa nature et sa quotité ne sont pas définies, car ces éléments varient avec l'âge d'exploitation.

La première cause nous oblige à recourir à des calculs qui, sans être bien compliqués, le sont pourtant assez pour rebuter certains esprits — elle nous oblige surtout, et ceci est un inconvénient grave, à supposer que, pendant des périodes très longues, sinon indéfinies, le taux de capitalisation restera immuablement fixé à sa valeur actuelle.

La seconde nous oblige à des hypothèses, des conventions; en les variant nous faisons varier consécutivement le résultat des calculs. Mais examinons d'abord le procédé de calcul, que nous discuterons ensuite.

II

Un bien qui rapporte tous les n ans un revenu net r vaut, très évidemment, pour celui qui veut, en l'acquérant, placer son argent au taux t, la même chose qu'un capital lequel, fonctionnant à ce taux t, produirait, avec une sécurité et une commodité identiques, un accroissement de sa valeur primitive égal à r en n ans. C'est ce qu'exprime l'égalité

$$x\,(1+t)^n = r + x$$

dans laquelle x représente la valeur cherchée. On tire de là

$$x = \frac{r}{(1+t)^n - 1}.$$

C'est la formule du fonds, familière aux estimateurs fores-

tiers. Il est bon de remarquer que ce procédé revient, en somme, à donner comme valeur au fonds la somme des revenus futurs de la forêt, valeurs ramenées au présent par l'escompte au taux t.

En effet si un revenu r est touché pour la première fois dans n ans, puis à nouveau tous les n ans, la valeur actuelle de ces revenus est :

pour le premier $\frac{r}{(1+t)^n}$

pour le deuxième $\frac{r}{(1+t)^{2n}}$

pour le troisième $\frac{r}{(1+t)^{3n}}$

etc.

et pour la totalité

$$\frac{r}{(1+t)^n}\left\{1+\frac{1}{(1+t)^n}+\frac{1}{(1+t)^{2n}}+\ldots\right\} \text{ ou}$$

$$\frac{r}{(1+t)^n}\,\frac{1}{1-\frac{1}{(1+t)^n}}=\frac{r}{(1+t)^n-1}$$

Au lieu de considérer un revenu périodique unique nous pouvons en envisager plusieurs, c'est-à-dire admettre que le fonds produit, en même temps qu'un revenu r à n ans, des revenus r' à n' ans, r'' à n'' ans, etc., n' et n'' étant plus petits que n. On aura

$$x=\frac{r+r'(1+\theta)^{n-n'}+r''(1+\theta)^{n-n''}+\ldots}{(1+t)^n-1}$$

θ est ici le taux auquel nous pouvons faire fructifier, en dehors de la forêt, les sommes r' r'', etc., perçues n-n' ou n-n'' années plus tôt que r. Nous avons établi cette formule plus haut, lorsque nous supposions x connu et que nous voulions calculer le taux de placement (1).

Ce calcul suppose connu le taux t, l'âge d'exploitation n et le revenu r. Ces deux dernières grandeurs sont reliées entre

(1) Voir page 360.

elles; si n est connu, r en découle. Nous n'avons donc d'inconnues que t et n.

Le taux t se déterminera, dans chaque cas particulier, d'après les considérations développées à la fin du chapitre Ier de cette étude.

L'âge n est indéterminé. Il peut varier dans des limites fort étendues; à chaque valeur de n correspondra une valeur de x. Parmi ces valeurs de x nous retiendrons la plus grande, comme étant la véritable valeur du fonds pour celui qui veut, en l'acquérant, faire un placement au taux t.

L'âge n, auquel correspond le maximum de x, est le terme de *l'exploitabilité commerciale*. C'est celui auquel on doit régler la coupe si l'on veut que la somme des valeurs, escomptées pour l'époque actuelle, de tous les revenus futurs, soit un maximum.

Ce procédé, irréprochable en théorie, prête, en pratique, à des objections très graves.

Il revient, en somme, à attribuer au fonds la valeur escomptée pour l'époque actuelle, de tous les revenus qu'il donnera dans l'avenir. Nous avons suffisamment insisté, au chapitre Ier de cette étude, sur l'incertitude nécessaire d'un pareil calcul. Aussi ne conseillons-nous de l'employer, à l'exclusion de tout autre, que pour des forêts dont l'âge d'exploitation est très court.

Il est cependant le seul exact, et le procédé direct, que nous exposerons au paragraphe suivant, n'est affranchi qu'en apparence de ses inconvénients, lorsqu'il est employé correctement.

Mais avant d'aller plus loin c'est ici le lieu de faire une remarque importante. Nous l'exposerons peut-être avec plus de clarté en prenant un exemple numérique.

Soit, par exemple, un taillis dont la valeur de consommation est de

140 fr. net	à l'âge de	10 ans.
240	—	15 —
370	—	20 —

530	fr. net à l'âge de	25	ans.
625	—	27	—
660	—	28	—
700	—	29	—
740	—	30	—
780	—	31	—
815	—	32	—
850	—	33	—
915	—	35	—
	etc.		

La valeur du fonds, calculée comme égale à celle du capital générateur, au taux de 4 p. 100, de ces revenus sera

Dans le cas de la coupe à	10	ans...	291	fr.
—	15	—	300	—
—	20	—	310	—
—	25	—	318	—
—	27	—	328	—
—	28	—	330	—
—	29	—	330	—
—	30	—	330	—
—	31	—	328	—
—	32	—	325	—
—	33	—	319	—
—	35	—	310	—
	etc.			

Ce qui nous montre que la véritable valeur du fonds, pour celui qui exige un intérêt de 4 p. 100, est de 330 fr., laquelle suppose l'exploitation entre 28 et 30 ans, soit à 29 ans.

Voici maintenant la remarque à faire.

Si nous acceptons cette valeur de 330 fr. pour le fonds, calculée au taux de capitalisation de 4 p. 100 pour l'âge d'exploitation de 29 ans, nous aurons de la forêt, si nous coupons à des âges autres que 29 ans, des taux de placement différents et ces taux seront tous, nécessairement, inférieurs à 4 p. 100, de sorte que le taux de placement le plus élevé que nous puissions obtenir de la forêt, la valeur du fonds ayant ainsi été calculée, est notre taux de capitalisation.

Cela est facile à vérifier pour un âge quelconque. Le taux de placement θ obtenu en supposant la coupe à 25 ans, par exemple, sera donné par la relation.

$$330\,(1+\theta)^{25} = 530 + 330$$
$$(1+\theta)^{25} = \frac{860}{330} = 2{,}6061$$
$$25 \log. (1+\theta) = \log. 2{,}6061 = 0{,}4147911$$
$$\log. (1+\theta) = 0{,}01659964$$
$$1+\theta = 1{,}389.$$
$$\theta = 0{,}0389 = 3{,}89 \text{ p. } 100$$

de même pour n'importe quel autre âge.

On peut du reste s'en rendre compte par le raisonnement suivant :

Si n est l'âge auquel la valeur x du fonds (1) calculée au taux t d'après le revenu r à cet âge est un maximum on aura

$$x = \frac{r}{(1+t)^n - 1} > \frac{r'}{(1+t)^{n'} - 1} \text{ par hypothèse.}$$

Si nous appelons t', le taux obtenu en coupant à l'âge n' nous devons avoir

$$x = \frac{r'}{(1+t')^{n'} - 1}$$

et en remplaçant x par cette valeur dans l'inégalité ci-dessus :

$$\frac{r'}{(1+t')^{n'} - 1} > \frac{r'}{(1+t)^{n'} - 1}$$

ce qui suppose évidemment $t' < t$.

C'est-à-dire que si n est un âge d'exploitation tel que la valeur x du fonds calculée au taux t en fonction du revenu réalisé à cet âge est un maximum, l'exploitation ayant x pour valeur de son fonds réalisera le maximum du taux de placement par la coupe à l'âge n, et ce maximum sera égal ainsi à t.

§ 2. — *Estimation directe du fonds.*

On a proposé d'estimer les fonds de forêts en faisant la somme de deux termes:

(1) Cette façon incorrecte de nous exprimer est claire : on voudra bien l'excuser, elle facilite notre langage.

1° La valeur du sol antérieurement à tout boisement;

2° Les frais de semis ou de plantation.

Examinons successivement ces deux éléments de la valeur et voyons si réellement, et dans quelles conditions, leur somme représente la valeur d'un fonds de forêt.

I. — Le sol.

Un sol quelconque a une valeur. D'où résulte-t-elle? Elle résulte uniquement de ce qu'il est utilisable, de ce que sa possession confère un avantage (1).

Une mauvaise friche vaudra 50 fr. l'hectare parce qu'on peut y tenir quelques moutons une partie de l'année. Si on pouvait y amener un nombre double d'animaux elle vaudrait deux fois autant. L'utilité, qui est la condition de la valeur, en est aussi, au cas particulier, la mesure.

Qu'il survienne maintenant un homme doué d'initiative et disposant de capitaux. Il achète la friche à 50 fr. et y plante des pins, dépensant, pour ce faire, une somme de 100 fr. Les pins grandissent; les voici arrivés à l'âge de 30 ans. Leur propriétaire les abat et les vend, net, à 1200 francs.

Les voisins, qui avaient d'abord tourné l'entreprise en dérision, se mettent à réfléchir et à calculer. Voici un homme qui a dépensé 150 fr. il y a trente ans, qui, de plus, depuis cette époque, paie tous les ans un petit impôt (2); en somme ses débours, tous intérêts à 5 p. 100 compris, représentent à peine, valeur à ce jour, 600 à 650 fr. Et il dispose actuellement d'une somme nette de 1200 fr. et de plus encore le sol lui reste, bien meilleur qu'il n'était au début? On peut donc placer son argent à 5 p. 100 et réaliser encore un bénéfice net de 600 fr. au bout de trente ans en plus des intérêts de la somme engagée?

(1) Cet avantage peut n'être pas actuel, mais purement éventuel. La propriété d'une terre, même improductive dans le présent, comporte toujours quelques chances de bénéfice, par suite d'une amélioration, d'une découverte, d'un changement quelconque dans les circonstances.

(2) Les semis et plantations de bois sur le sommet et le penchant des montagnes, sur les dunes et dans les landes, seront exempts de tout impôt pendant trente ans (art. 226 Code forestier).

Aussi notre homme d'initiative va-t-il avoir des imitateurs. D'autres voudront acquérir des friches. La demande de terres en fera hausser le prix. Le détenteur d'une friche ne la cédera plus à 50 fr. Il pourra en obtenir 100, 150, 200 fr. ou plus, jusqu'à quelle limite?

Jusqu'à la limite où il n'y aurait plus intérêt à faire l'opération, où le bénéfice cesserait d'être séduisant, et d'attirer un spéculateur. Si une somme de 100 fr. représente les frais du boisement, si 50 fr. sont la valeur actuelle des 30 annuités nécessaires pour couvrir annuellement, pendant trente ans, les frais de surveillance, impôts, et si x est la valeur de la friche le spéculateur fera le calcul suivant qui lui indiquera le prix limite au-delà duquel il ne sera plus acquéreur :

Le capital à immobiliser est $150 + x$. La récolte dans 30 ans vaudra 1200 fr. Après l'avoir réalisée il restera un sol dont la valeur sera supérieure sans doute à x, mais qu'on peut, pour plus de sûreté, estimer à x. On aura, en appelant t l'intérêt que l'on exige du capital à engager pour faire le boisement

$$(150 + x)(1 + t)^{30} = 1200 + x$$

équation d'où il est facile de tirer x

$$x\,[(1 + t)^{30} - 1] = 1200 - 150\,(1 + t)^{30}$$

$$x = \frac{1200 - 150\,(1 + t)^{30}}{(1 + t)^{30} - 1}$$

Quelle sera donc, en définitive, cette valeur de x? Elle dépendra du taux t à employer. Si l'on a confiance que le revenu net de 1200 fr. se produira *sûrement* dans trente ans, si les capitaux sont abondants et trouvent peu de débouchés productifs on fera une affaire encore attrayante en adoptant un taux de 5 p. 100. La valeur de x sera alors

$$x = (1200 - 150 \times 4{,}32)\ 0{,}301 = 342 \text{ fr.}$$

Si l'incertitude du revenu est plus grande, ou si d'autres emplois avantageux s'offrent au capital, on pourra n'être plus déterminé que par l'attrait d'un taux plus élevé, de 6 p. 100 par

exemple, ou davantage, et ne plus offrir, par suite, de la friche, qu'un prix moindre que 342 francs.

C'est par un calcul analogue à celui que nous venons de faire qu'on découvrira si un boisement est avantageux ou non au point de vue financier. L'affaire sera bonne si la valeur escomptée, à un taux largement rémunérateur, des revenus que fournira la forêt à créer dépasse notablement la valeur du sol, champ cultivé ou pâture, augmentée des frais de boisement.

Il y aura naturellement d'autant plus de chances de la voir réalisée qu'elle sera meilleure, et cependant nous voyons, même en France, où les capitaux disponibles sont si abondants, quantité de friches rester incultes qu'il y aurait intérêt à boiser. Cela s'explique surtout par l'ignorance et l'égoïsme des capitalistes qui répugnent à une opération dont le bénéfice sera seulement pour leurs enfants, et dont ils auront toute la charge. L'homme ne veut pas — ou ne peut pas — consentir à se priver, au profit de la génération qui vient, du revenu d'un capital pour une période de temps qui dépassera sans doute la durée de sa propre existence.

Inversement il peut fort bien arriver que la valeur du sol occupé par une forêt, même si l'on y ajoute les frais du défrichement, soit moindre, si on la déduit du revenu forestier, que celle de la terre cultivée voisine de même qualité. Dans ce cas l'intérêt financier (1) du propriétaire est de défricher, et chacun sait combien cette spéculation a été largement pratiquée en France. Elle est en effet, non pas nécessairement plus avantageuse, mais infiniment plus séduisante que le boisement de la friche. Elle entraîne, comme le boisement, un accroissement de richesse, mais procure de plus un capital disponible et le nouveau revenu créé sera annuel et immédiat : le défricheur en

(1) Nous nous plaçons ici uniquement au point de vue du rendement en argent de l'exploitation. Il va sans dire qu'il y a des cas où le maintien de la forêt est commandé par des considérations supérieures à celle du revenu que donnent les coupes de bois.



jouira lui-même. C'est pourquoi il y a tant de gens qui défrichent et si peu qui reboisent.

Ce ne sont pas là, du reste, de simples théories. Les faits leur donnent sous nos yeux, tous les jours, la plus évidente confirmation.

Nous voyons tous les jours des terres abandonnées par le laboureur ou le pâtre passer aux mains d'un propriétaire avisé qui les boise. Pourquoi? parce qu'il peut en tirer, par le boisement, un bénéfice plus grand que celui que donne le pâturage ou le labour et qu'il peut ainsi payer la terre plus cher qu'elle ne vaut pour le berger. Un exemple particulièrement topique nous est donné par les savarts (friches) de la Champagne pouilleuse dont nous avons parlé au tome I[er] (pages 192 et suivantes). Il y a un demi-siècle on les vendait à la *holée*, c'est-à-dire pour presque rien, 20 à 50 fr. l'hectare parce qu'on ne leur connaissait pas d'autre utilisation que d'y mener des moutons brouter le *pouilleu* (serpolet) qui y croît spontanément. Lorsqu'on eut découvert que, reboisés en pin d'Autriche, ces terrains fournissent un revenu de 800 fr. environ en trente ans leur prix s'éleva tout aussitôt à 120 fr., qui est leur valeur actuelle. Et cependant les savarts qui subsistent portent toujours du seul *pouilleu;* mais ils n'en porteraient pas si les hommes d'initiative et de dévouement étaient plus nombreux encore qu'ils ne sont.

Il est impossible, croyons-nous, de montrer plus évidemment que la valeur du sol résulte uniquement *du revenu qu'on lui connaît*. Lorsque ce revenu est vraiment bien connu, il se crée pour les sols une sorte de prix courant : le savart vaut 120 fr. par ce que chacun sait, après que l'expérience en a été cent fois répétée, qu'en y engageant un capital de 80 à 100 fr. on créera une valeur de 800 à 900 fr. en trente ans et qu'on aura ainsi placé son argent à 5 ou 6 p. 100, ce qui est une compensation suffisante à l'inconvénient de ne toucher aucun intérêt avant trente ans. On ne fait plus le calcul quand on achète un savart : il a été fait une fois pour toutes. On le refera si le taux de l'intérêt vient à changer, si les placements en rentes sur

l'Etat ou en obligations sûres ne rapportant que 2 p. 100, on voit surgir de nouveaux amateurs de boisement, ou si la valeur des bois venait à hausser ou à baisser.

L'estimation, au prix de vente habituel des terres analogues, du sol qui forme un des éléments de la valeur du fonds forestier, n'est justifiée que si ce prix de vente est précisément calculé dans l'éventualité d'un reboisement possible. Ce cas se présente, il est vrai, fréquemment aujourd'hui, où les boisements sont pratiqués presque partout. Chacun sait ce qu'il en coûterait, et ce qu'il en reviendrait de créer une pineraie sur un plateau calcaire aride; on en déduit ce que vaut le terrain. *En d'autres termes, on ne peut faire légitimement l'estimation directe du sol, au prix-courant local, que si d'autres, avant vous, ont fait l'estimation par le revenu et que le résultat de leur calcul soit devenu banal, connu de tous.* Et encore n'obtient-on, en y ajoutant à ce prix les frais d'un semis ou d'une plantation, que la valeur d'un sol nouvellement boisé, et non pas celle du fonds d'une vieille forêt.

II. — Les frais de boisement.

Le sol d'une forêt ancienne ne diffère pas seulement de la friche nouvellement plantée par la présence de quelques milliers de plants à l'hectare. Il ne suffit pas d'ajouter à la valeur de la friche les frais de semis ou plantation pour obtenir la valeur d'un fonds de forêt!

La terre forestière, abritée depuis des siècles par le massif, présente des qualités spéciales. Elle les a obtenues à la longue, grâce à l'intervention de forces naturelles qui agissent sans cesse pour la modifier. Qui pourra estimer, autrement que d'après le revenu qui en découle, le surcroît d'arrosement et de fraîcheur du sol — les réserves organiques — la perméabilité à l'eau, à l'air et aux racines, etc., etc., que la forêt procure par l'influence prolongée de son couvert, par le travail des organismes de toutes espèces, du ver de terre jusqu'à la bactérie

presque invisible? Un de nos maîtres a montré, dans une étude d'un très haut intérêt, que, plus d'un siècle et demi après son reboisement, un sol autrefois en culture différait encore profondément, par l'ensemble de ses propriétés, du sol des forêts voisines (1).

Citons ici un exemple, emprunté à la réalité, qui nous aidera à rendre plus net, si possible, ce qui précède.

Nous avions naguère à estimer une forêt traitée en taillis-sous-futaie dans les environs de Nancy. Elle croît en terrain argileux moyennement compacte, sur le sommet d'une colline dont les pentes, assez raides, sont cultivées. Son peuplement est formé de chênes, de bois blancs et de charmes.

Les taillis, exploités à 30 ans, ont une valeur qui serait au moins de 1100 fr. net l'hectare plein. Il faut y ajouter le revenu d'une éclaircie à 25 ans qui serait d'environ 200 fr. Nous avons dit que la forêt est traitée en taillis-sous-futaie; il existe cependant des emplacements où les réserves font défaut et où il est facile de constater ces rendements du taillis que nous estimerons à 1300 fr. l'hectare, éclaircie et coupe principale réunies, à récolter tous les 30 ans sur le même emplacement.

Les terrains voisins de la forêt sont labourés. Eloignés du village, on n'y accède que par un assez mauvais chemin, en forte pente; ils reçoivent peu d'engrais. Leur culture est du reste difficile. Aussi n'ont-ils guère de valeur. Il y a peu d'années une parcelle en a été vendue sur le pied de 100 fr. l'hectare.

D'autre part les boisements sont faciles. La parcelle récemment achetée à 100 fr. l'hectare a été plantée en chênes : les frais ont été de 95 fr. environ l'hectare (2): ils auraient été bien

(1) A la suite du boisement « le sol se modifie profondément dans sa constitution chimique, dans ses propriétés physiques, et surtout dans ce qu'on pourrait appeler sa structure. Ces modifications paraissent exiger un temps fort long puisque des cantons boisés il y a plus d'un siècle et demi n'ont pas encore le sol, et par suite le tapis végétal, des cantons qui n'ont jamais cessé d'être boisés. » (*Un reboisement*, par P. Fliche, professeur à l'École nationale forestière, page 148. Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1888.)

(2) Nous répétons que ces chiffres sont empruntés à la réalité, et nous pouvons en garantir l'exactitude. Il existe du reste beaucoup de points où l'on peut créer des boisements à bien moins de frais encore. M. Henry, professeur à l'École

moindres si l'on avait semé des glands, qui étaient précisément assez abondants l'année de la plantation (1900) et qu'on pouvait se procurer à vil prix. Actuellement la réussite est assurée et déjà des bouleaux et des bois blancs apparaissent, qui formeront un remplissage entre les chênes.

Admettra-t-on maintenant que le fonds de la vieille forêt vaut 100 + 95 = 195 fr.? C'est donc que, traitée en taillis simple, elle produirait un revenu de 7 p. 100 ou davantage? Croit-on que si on mettait en vente, après recépage à blanc étoc, une parcelle de la forêt il ne se trouverait pas un amateur qui l'achèterait à 500 fr. l'hectare et penserait, avec raison, faire ainsi une bonne opération en plaçant son argent, d'une façon sûre, à près de 4,5 p. 100 (exactement à 4,37 p. 100)? Aussi croyons-nous avoir été très modéré en estimant le fonds de la forêt à 500 fr. l'hectare.

Voici donc un fonds de forêt qui vaut au moins 500 fr. parce

nationale des Eaux et Forêts, cite, dans le bulletin n° 2 de l'office agricole de Nancy (février 1900), le cas suivant : A Gondrecourt (Meuse), il existe d'assez nombreux terrains en friche qui se vendent 20 à 50 fr. l'hectare. Un propriétaire avisé a pu acquérir à ce prix des cantons étendus, d'un seul tenant (14 hectares et 20 hectares). Les frais de reboisement sont à peu près nuls. On sème à la volée de la graine de pin en même temps que de l'avoine ; la récolte de l'avoine paie presque tous les frais. Voici du reste le bilan exact de l'opération (pour un hectare).

Dépenses.		Recettes.	
Labour d'automne à 4 chevaux suivi d'un léger labour au printemps	70 fr.	700 kilogr. d'avoine à 16 fr. les cent kilogr.	112 fr.
Avoine de semaille (125 kilogr.).	20 —	1.000 kilogr. de paille.	30 —
10 kilogr. de graine de pin noir d'Autriche	50 —		142 fr.
Répandage à la volée de l'avoine et de la graine de pin	4 —		
Hersage et roulage	16 —		
Frais de récolte de l'avoine	30 —		
	190 fr.		

Les dépenses sont évaluées au maximum et les recettes très bas. Très souvent le produit de la récolte surpassera les frais de culture. On peut donc, à Gondrecourt, créer un hectare de boisement moyennant une dépense de moins de cent francs par hectare y compris les frais d'achat du terrain. Les forêts voisines portent des taillis dont la valeur est de sept cents francs l'hectare à vingt-cinq ans, parfois davantage. Dira-t-on que le fonds de ces forêts ne vaut que 80 ou 100 fr. parce qu'on peut, à ce prix, créer des boisements sur leurs rives? Il vaut au moins quatre fois plus.

que, en l'achetant, on acquiert une série de revenus égaux chacun à 1.300 fr. à toucher périodiquement et pour la première fois dans 30 ans. Escomptés au taux de 4,37 p. 100, qui tient largement compte de toutes les éventualités, ces revenus valent, actuellement, cette somme de 500 fr.

D'autre part le terrain boisé, sur les reins de la forêt, revient à peine à 195 fr. l'hectare, moins des deux cinquièmes. D'où provient cette énorme différence?

Elle a deux causes que nous allons examiner, sans craindre de répéter, en examinant la première, ce que nous avons déjà dit dans la première partie de ce paragraphe.

1° La terre labourée sur les rives de la forêt a été vendue 100 fr. parce que son propriétaire ne savait pas ou ne pouvait pas l'utiliser autrement qu'en la labourant et qu'il estime que son bénéfice net moyen annuel, son travail étant rémunéré, ne dépassait pas quatre francs, par exemple.

Cette même terre, une fois reboisée, peut donner un rendement dix fois plus élevé. Mais il faut y immobiliser, en frais de boisement, une centaine de francs et se passer de revenu pendant trente ans tout en payant l'impôt chaque année; le détenteur actuel ne le sait pas ou ne se soucie pas d'une pareille opération. C'est pourquoi il vend à 100 fr.

Mais que l'exemple donné par l'acquéreur en reboisant porte ses fruits, que les voisins constatent, à n'en pouvoir douter, les bénéfices du boisement. Aussitôt le prix de la terre haussera. Il atteindra 150, 200 fr., etc. A quelle limite cette hausse s'arrêtera-t-elle? Trouvera-t-on acheteur à 405 fr., différence entre la valeur du fonds de forêt et les frais de boisement? Certes non. En achetant à ce prix on ferait une très mauvaise affaire, et ceci nous amène à examiner la deuxième cause de la différence signalée ci-dessus entre la valeur du fonds de la forêt et le prix de revient du boisement voisin.

2° Ce boisement n'est pas une forêt, ce n'est qu'un champ couvert de plants. Son sol n'est pas un sol forestier, il ne possède ni vieil ensouchement, puissamment enraciné, ni terreau,

ni feuilles mortes, ni la flore ni la faune, ni la structure intime des terrains forestiers. La prochaine coupe ne donnera pas 1300 fr., comme dans la forêt voisine, mais 950 fr., par exemple; la seconde, dans 60 ans, ne donnera encore que 1100 fr., et ce n'est guère que dans un siècle à peu près, à la troisième coupe, que ce champ reboisé, devenu semblable à la forêt voisine, donnera les mêmes revenus. Sa valeur actuelle est

$\frac{950}{(1+t)^{30}}$, valeur escomptée de la première coupe, plus

$\frac{1100}{(1+t)^{60}}$ valeur escomptée de la deuxième, plus

$$1300\left\{\frac{1}{(1+t)^{90}}+\frac{1}{(1+t)^{120}}+\frac{1}{(1+t)^{150}}+\dots\right\}$$
$$=1300\,\frac{1}{(1+t)^{60}\left\{(1+t)^{30}-1\right\}}$$

ce dernier terme représentant la valeur totale en bloc de toutes les récoltes qui suivront la deuxième.

Si nous escomptons au taux de 5 p. 100, ce qui paraît convenable (1) étant donné le degré de sécurité de tous ces revenus, il viendra, pour leur valeur actuelle :

$$x = 950 \times 0{,}231 + 1100 \times 0{,}053 + 1300 \times 0{,}053 \times 0{,}30 = 298 \text{ fr.}$$

Telle est la valeur du sol couvert de plants, immédiatement après le boisement. La valeur véritable du sol avant le boisement sera donc 298 — 95 = 203 fr. En l'acquérant à ce prix, pour le boiser, on obtiendrait un intérêt de 5 p. 100 du capital engagé. En reboisant lui-même son terrain, le cultivateur s'enrichirait de la différence entre la valeur du sol déduite du revenu agricole (100 fr.) et celle déduite du revenu forestier (203 fr.).

Ce calcul nous montre enfin qu'entre le fonds de la forêt ancienne et le champ nouvellement boisé il peut y avoir une différence de valeur de près des deux tiers de la valeur de celui-ci. Dans d'autres cas la différence pourrait être encore beaucoup

(1) Le revenu d'une plantation nouvelle est plus aléatoire que celui du fonds d'une forêt ancienne; il est naturel de l'escompter à un taux un peu supérieur.



plus grande. On voit par là combien il est erroné de prétendre estimer un fonds de forêt d'après les frais de boisement d'une friche.

En somme, la valeur du fonds, si l'on veut l'analyser et la disséquer, est la somme de trois termes (1):

1° La valeur du sol nu, déduite de son utilisation forestière, y compris la valeur du travail humain incorporé pour la mise en valeur générale (délimitation, voies d'accès, etc.);

2° Les frais du boisement ;

3° La plus-value qu'a donnée au sol la présence prolongée de la forêt.

De ces trois éléments, le second seul peut se déterminer directement. Les deux autres ne peuvent l'être correctement que par le calcul.

§ 3. — *Conclusion*.

Après cette longue discussion notre devoir est d'aboutir à une conclusion claire et catégorique. Nous n'y manquerons pas.

Aucun des deux modes d'estimation du fonds n'est toujours et partout préférable.

Le premier, par le calcul, correct en théorie, devient *illusoire* dès qu'on admet des âges d'exploitation un peu avancés.

Le second, direct (2), est *erroné en principe*. Mais nous connaissons le sens habituel de l'erreur : la valeur est trouvée trop faible, surtout lorsqu'on prend comme terme de comparaison, pour estimer l'élément sol dans l'ensemble complexe qu'est le fonds, un sol délaissé par l'agriculture, et auquel on n'attribue,

(1) Certains partisans de l'estimation directe, pour ne pas aboutir à des résultats par trop invraisemblables en assignant comme valeur au fonds d'une forêt celle d'une friche augmentée des frais de son boisement ont été amenés à doubler ou tripler ces derniers. Ils masquaient ainsi l'existence du troisième élément de la valeur du fonds, celui qui résulte de ses qualités forestières, qu'on ne peut estimer que par le calcul, en exagérant l'importance du seul élément qui puisse s'évaluer directement : les frais de boisement.

(2) Il s'agit de ce procédé dans lequel on additionne la valeur du sol nu et les frais de boisement pour obtenir la valeur d'un fonds de forêt.

dans le fonds de forêt, que la valeur qu'il avait pour l'agriculteur ou le pâtre.

Le procédé direct est inexact. Mais cela importe peu en pratique : toute la question est de savoir si son inexactitude est tolérable.

Non, elle ne l'est pas toujours quand il s'agit de forêts traitées à court terme. La valeur du fonds joue alors un rôle trop important pour qu'on puisse toujours tolérer l'erreur. On n'aboutit, dans ces cas, à des résultats qui ne soient pas absurdes qu'en forçant les frais de boisement et la valeur du sol de façon à obtenir des taux de placement admissibles, au lieu des taux de 8, 10, 12 p. 100 et plus que peut donner le procédé appliqué sans artifice. Il vaut mieux, dès lors (dans le cas de forêts traitées à court terme), partir du revenu et du taux supposés connus pour déduire, par le calcul, la valeur du fonds.

Oui, elle l'est, quand il s'agit de forêts traitées à long terme, dont le capital-superficie est considérable et peut s'estimer directement, sans le déduire de la valeur du fonds. Celle-ci est alors impossible à calculer raisonnablement; elle est de plus minime, presque négligeable, à côté de celle du capital total (1). On peut alors, avec discernement, estimer le fonds par le procédé direct, qui a pour lui, du reste, l'avantage de la simplicité.

Cependant, même dans ce dernier cas, il sera encore prudent de calculer aussi la valeur du fonds en la déduisant du revenu que donnerait une forêt aussi semblable que possible à celle qu'on considère, mais traitée à court terme. C'est ainsi qu'on

(1) Lorsqu'une sapinière, croissant sur le sable aride et sans valeur agricole du grès vosgien, porte un matériel dont la valeur pour le marchand de bois atteint 5.000 ou 6.000 francs à l'hectare, peu importe qu'on estime son fonds, lorsqu'on veut l'acheter, à 200 ou 300 francs ou même à zéro. C'est ce dernier prix qu'adoptera généralement un acheteur qui, pouvant estimer correctement les dix-neuf vingtièmes de la valeur, ne s'embarrassera guère du prix exact du dernier vingtième. Une forêt valant plus de 6.000 fr. l'hectare ne s'estime pas à 5 p. 100 près, lors de transactions amiables. Il est vrai qu'il n'en est plus de même, par exemple dans le cas d'une expropriation, lorsqu'un expert doit attribuer au fonds la valeur totale qu'on peut raisonnablement lui reconnaître, par n'importe quel moyen justifiable.



pourra, pour estimer le fonds d'un taillis-sous-futaie, prendre comme point de comparaison la valeur, déterminable par le calcul, du fonds d'une forêt traitée en taillis simple. Le fonds d'une sapinière pourra être comparé à celui d'une forêt voisine dans laquelle on produit des bois de râperie ou des étais de mine avec une courte révolution. Les valeurs ainsi calculées, rapprochées de celles que fournit l'estimation directe, permettront de corriger ces dernières et de les rendre plus certaines.

CHAPITRE IV

ESTIMATION DE LA SUPERFICIE

SOMMAIRE

§ *1. — Les deux valeurs des bois vivants.*

Un arbre ou un peuplement, vivant, a deux valeurs. Il peut être coupé et livré au marchand de bois. Celui-ci le paiera à sa *valeur de consommation.* Il peut aussi être laissé sur pied, en vue de sa réalisation ultérieure, par un spéculateur qui l'achè-

tera, escomptant sa valeur future. Celui-ci l'estimera à sa *valeur d'avenir*.

Valeur de consommation, valeur d'avenir sont deux conceptions irréductibles, dont aucune ne peut être substituée à l'autre. Aucun estimateur ne peut se dispenser de les considérer toutes deux, sous peine de s'exposer aux plus grossières erreurs.

La valeur d'avenir existe toujours. Quelqu'âgé que soit un arbre, on peut le laisser vieillir encore. Quelque jeune qu'il soit, n'existât-il que comme un semis portant encore ses cotylédons, il a déjà une valeur d'avenir.

La valeur d'avenir est une valeur escomptée. Qui dit escompte dit taux. La valeur d'avenir est relative à ce taux. Elle l'est aussi à l'âge d'exploitation : elle est doublement relative. Aussi certains auteurs l'ont-ils désignée par cette épithète de valeur *relative*. Nous préférons dire valeur d'avenir, ce qui est plus significatif.

La valeur de consommation, quelquefois appelée *valeur absolue* par les forestiers, n'existe que chez le sujet déjà suffisamment âgé pour que sa récolte laisse un profit. Un taillis de deux ans a une valeur d'avenir, il n'a pas encore de valeur de consommation.

§ 2. — *Valeur de consommation.*

Quand on doit estimer une forêt de quelque importance, la première chose à faire est de la diviser en parcelles homogènes. Cette homogénéité doit être suffisante pour que l'on puisse appliquer les mêmes tarifs au cubage et les mêmes prix à l'évaluation des bois dans toute l'étendue de la parcelle. On estime alors chaque parcelle successivement.

Pour cela on fait l'inventaire de toutes les tiges qui s'y trouvent, on répartit le volume en catégories de marchandises auxquelles on applique les prix nets du marché au moment et au lieu de l'opération.

Il faut cependant remarquer que, lorsque la quantité de bois à estimer est considérable, elle peut être supérieure à ce qu'on

pourrait jeter sur le marché en une fois sans avilir les prix. Les bois, surtout ceux de faible dimension, ont forcément un marché étroit à cause de la faible valeur de leur unité de poids qui empêche de les transporter à distance et oblige, en quelque sorte, à les écouler sur place. Aussi peut-il arriver qu'un délai de plusieurs années soit nécessaire à un marchand de bois pour qu'il puisse liquider tout le matériel d'une forêt. Dès lors, son entreprise devient aléatoire, il est exposé à une baisse des prix, l'incertitude du lendemain entre en jeu, la maladie ou la mort pourront survenir et anéantir les prévisions. De plus une opération commerciale faite sur une forte quantité de marchandises en une fois comporte toujours une réduction de prix, ce que les commerçants appellent la réduction du gros. Pour toutes ces raisons il sera naturel d'appliquer, à l'estimation du matériel d'une forêt importante, des prix moindres que ceux d'une vente au détail. La mesure de cette diminution est affaire d'appréciation.

Ce mode d'estimation néglige forcément la valeur des jeunes bois, qui n'ont pas encore de valeur de consommation, et il évalue évidemment à vil prix les bois qui n'ont que depuis peu dépassé les limites de dimension à partir desquelles cette valeur commence à apparaître. Il en résulte une erreur qui n'est pas tolérable lorsque l'âge d'exploitation est bas. Elle le devient au contraire si l'âge d'exploitation est très élevé, car il y a alors dans la forêt un matériel considérable pouvant être estimé par le marchand de bois et l'omission de la valeur des semis, fourrés ou gaulis, devient insignifiante.

§ 3. — *Calcul de la valeur d'avenir.*

I. — Méthode générale de calcul.

Soit un peuplement âgé de 20 ans. Combien vaut-il pour celui qui l'achète en vue de le réaliser lorsqu'il aura 30 ans, et vaudra 1.000 fr., dans l'hypothèse que l'acquéreur veut, en faisant l'opération, obtenir de son argent un intérêt de 4 p. 100?

Soit x cette valeur et f la valeur du fonds, 400 fr. par exemple. La valeur actuelle, $400 + x$, sera devenue $400 + 1000$ dans dix ans, lorsque le peuplement aura 30 ans. Si l'on veut que le capital d'achat fonctionne au taux de 4 p. 100, la valeur de x devra être telle que

$$(400 + x)\,\overline{1{,}04}^{10} = 1000 + 400$$

$$x = \frac{1400}{\overline{1{,}04}^{10}} - 400 = 546 \text{ fr.}$$

La valeur d'avenir x d'un peuplement, actuellement âgé de n' ans, destiné à être coupé à n ans, qui donnera à cet âge un revenu r, est donc, pour celui qui exige un intérêt t de ses capitaux (1) :

$$x = \frac{f + r}{(1 + t)^{n - n'}} - f$$

La valeur d'avenir n'est pas unique, comme la valeur de consommation. Elle n'existe pas pour n'importe qui, *erga omnes*, comme disent les juristes. Elle n'existe que subjectivement, pour celui qui l'envisage, en conséquence de conventions acceptées préalablement. C'est une *valeur de convention*, particulière à l'estimateur.

(1) La valeur d'avenir, il paraît naïf de le faire remarquer, ne peut se concevoir que pour un peuplement vivant, c'est-à-dire uni au sol. Le capital producteur de l'accroissement n'est pas seulement formé de la valeur de consommation actuelle du peuplement, mais aussi de la valeur du sol qui le porte et qui coopère nécessairement à la production.

En d'autres termes, en employant les notations adoptées dans ce paragraphe, c'est la valeur $f + x$ qui passe à la valeur $f + r$ en s'accroissant au taux t et non pas la valeur x qui devient r en s'accroissant à ce taux.

Et cependant on voit trop souvent des experts, ou prétendus tels, estimer la valeur actuelle d'un peuplement en escomptant simplement sa valeur future sans s'occuper du fonds, engagé avec le peuplement, dans la production. Ils admettent, si x est la valeur du peuplement à n' ans, et r sa valeur à n ans :

$$x = \frac{r}{(1 + t)^{n-n'}}.$$

Ce procédé de calcul inexact est, nous le répétons, assez fréquent pour que, par exception, nous le signalions ici malgré notre parti pris de ne pas polémiser contre les erreurs que renferment un grand nombre d'ouvrages sur le sujet de cette septième étude.

II. — VALEURS D'AVENIR DIVERSES CALCULÉES AVEC UN MÊME TAUX MAIS DANS L'HYPOTHÈSE D'AGES D'EXPLOITATION DIFFÉRENTS.

Si nous supposons qu'on ait décidé d'employer un taux déterminé t pour calculer la valeur d'avenir d'un peuplement on trouvera encore des résultats bien différents pour cette valeur suivant que l'on supposera que la coupe aura lieu à des époques plus ou moins éloignées dans l'avenir.

Soit un peuplement d'âge n', de valeur x, croissant sur un fonds de valeur f, et destiné à être coupé à l'âge n auquel il vaudra r. Nous avons

$$f + x = \frac{f + r}{(1 + t)^{n-n'}}.$$

Soit θ le taux auquel se forme, à l'âge n, la valeur fonds et superficie dans la forêt. Si l'on recule d'un an l'âge d'exploitation présumé, la nouvelle valeur d'avenir x', qui en résultera, sera telle que

$$f + x' = \frac{(f + r)(1 + \theta)}{(1 + t)^{n-n'}(1 + t)}$$

x' sera donc plus grand que x si $\frac{1 + \theta}{1 + t}$ est plus grand que l'unité, c'est-à-dire si θ est plus grand que t.

Nous avons étudié la variation, avec l'âge des peuplements, du taux de formation de la valeur fonds et superficie (1). Nous savons que, relativement grand lorsque les peuplements sont très jeunes, il baisse continuellement à mesure que ceux-ci vieillissent. Il arrivera donc un moment où il sera égal au taux t choisi par

(1) Voir pages 299 à 302, où nous avons considéré le taux auquel s'accroît la valeur d'un peuplement ou de la superficie, c'est-à-dire la grandeur $\frac{dp}{p}$, p étant la valeur de la superficie. Le taux de formation de la valeur fonds et superficie suit évidement, dans sa variation, une marche analogue puisqu'il est égal à $\frac{dp}{p + f}$ si f est la valeur du fonds, c'est-à-dire une constante. Voir de plus pages 352 à 355 et la note de la page suivante (430).

l'acquéreur. Soit N l'âge auquel cette égalité est réalisée. Ce qui précède nous montre que :

De toutes les valeurs d'avenir qu'un acheteur, désireux d'obtenir de son capital un intérêt t, peut attribuer à un peuplement, la plus grande sera celle calculée dans l'hypothèse de la coupe à un âge N tel qu'alors le taux de formation de la valeur fonds et superficie (1) soit égal à t.

C'est-à-dire que, parmi tous les amateurs d'une parcelle de bois qui veulent, en l'achetant, placer leur argent à un même taux, celui qui lui attribuera la valeur la plus grande, et qui deviendra par suite l'acquéreur, sera celui qui basera ses calculs sur l'hypothèse de la coupe à l'âge N. Ou bien encore :

Celui qui achète une parcelle de forêt en vue de placer son argent au taux t lui attribuera sa valeur maxima en adoptant, dans cette forêt, l'âge d'exploitation N.

Si, comme il est raisonnable de l'admettre, cet acheteur a aussi estimé le fonds f par le calcul à l'aide du même taux t, ce taux sera alors le taux de placement de la forêt et l'âge d'exploitation N réalisera à la fois le terme de l'exploitabilité commerciale (maximum de la valeur escomptée de tous les revenus futurs du fonds), de l'exploitabilité financière (maximum du taux de pla-

(1) Au taux de formation de la valeur fonds et superficie d'une parcelle boisée on substitue quelquefois, dans la pratique, pour plus de simplicité, le taux d'accroissement *du volume* du peuplement qu'elle porte. Soit dv l'accroissement du volume du peuplement, v ce volume, dp l'accroissement de sa valeur, p sa valeur et f celle du fonds, on aura :

pour le taux d'accroissement du volume du peuplement $\tau = \frac{dv}{v}$

pour le taux d'accroissement de la valeur du peuplement $t = \frac{dp}{p}$

pour le taux de formation de la valeur fonds et superficie $T = \frac{dp}{p+f}$.

Nous savons que $\frac{dp}{p}$ est plus grand que $\frac{dv}{v}$. Il peut donc arriver, pour certaines valeurs de p, que $\frac{dp}{p+f}$ ne diffère pas beaucoup de $\frac{dv}{v}$ et qu'en pratique ces deux grandeurs soient assez voisines d'être égales. Il résulterait de là une grande simplification pour la détermination de l'âge auquel le taux de formation de la valeur fonds et superficie atteint une limite fixée, mais cette simplification n'est obtenue qu'au prix d'une inexactitude qui peut être considérable.

cement dans la forêt) et le maximum de la valeur d'avenir de tous les peuplements qui la composent.

Le calcul de la valeur d'avenir d'un peuplement suppose connue la valeur du fonds. Dans le cas particulier où celle-ci aurait été calculée en fonction du revenu obtenu au même âge n auquel on veut couper les bois, et par l'emploi du même taux, on aurait alors à la fois

$$x = \frac{f + r}{(1+t)^{n-n'}} - f \qquad \text{et } f = \frac{r}{(1+t)^n - 1}$$

$$\text{d'où } x = \frac{\frac{r}{(1+t)^n - 1} + r}{(1+t)^{n-n'}} - \frac{r}{(1+t)^n - 1}$$

$$= r\,\frac{(1+t)^{n'} - 1}{(1+t)^n - 1}$$

formule qu'on désigne souvent sous le nom de *formule de la superficie* bien qu'elle ne donne de celle-ci qu'une valeur de convention, particulière au cas que nous avons spécifié. Il est vrai que ce cas est le plus fréquent; car si l'on admet un âge d'exploitation et un taux donnés pour calculer la valeur d'avenir du peuplement, il est naturel d'employer ces mêmes bases, de faire ces mêmes conventions, pour calculer la valeur du fonds. Il importe pourtant de remarquer que ce cas, pour être normal, n'est cependant pas le seul concevable. Il ne sera pas réalisé, par exemple, toutes les fois qu'on aura estimé le fonds par la méthode directe. Ce cas spécial de la valeur d'avenir mérite d'être examiné à part.

III. — Cas particulier de la valeur *erga dominum*.

Un propriétaire possède une forêt dans laquelle l'âge d'exploitation est n et le revenu, périodique ou annuel, r. Le fonds, estimé par un procédé quelconque, a une valeur f. Il résulte de l'ensemble de ces données un taux de placement t pour la forêt.

Pour ce propriétaire les bois en croissance dans la forêt sont,

unis au sol qui les porte, des valeurs qui, s'accroissant au taux t, seront devenues $f + r$ à n ans. C'est-à-dire que la valeur y de la parcelle âgée de n' ans sera

$$y = \frac{f + r}{(1 + t)^{n - n'}} \qquad \text{(Equation 1).}$$

Puisque le taux de placement est t il en résulte que

$$r = f\,[(1 + t)^{n} - 1] \qquad \text{(Equation 2)}$$

d'où $$y = \frac{f\,(1 + t)^{n}}{(1 + t)^{n - n'}} = f\,(1 + t)^{n'} \qquad \text{(Equation 3).}$$

La valeur de la superficie, x, sera $y - f$.

$$x = y - f = f\,[(1 + t)^{n'} - 1] \qquad \text{(Equation 4)}$$

c'est-à-dire égale en valeur aux intérêts accumulés de la valeur du fonds depuis la naissance du peuplement.

Si nous remplaçons f dans l'équation 4 par sa valeur tirée de l'équation 2 il vient

$$x = r\,\frac{(1 + t)^{n'} - 1}{(1 + t)^{n} - 1}.$$

C'est la valeur ERGA DOMINUM de la superficie. Comme son nom l'indique, la valeur *erga dominum* est celle du bois, non pas vis-à-vis de n'importe quel acquéreur possible, mais celle qu'il a pour le propriétaire de la forêt. L'utilité d'une estimation relative au propriétaire se manifestera dans la seconde partie de cette étude, lorsqu'il s'agira de déterminer l'indemnité due par celui qui a détruit des bois en croissance dans une forêt.

§ 4. — *Comparaison de la valeur d'avenir et de la valeur de consommation.*

La valeur d'avenir x d'un peuplement d'âge n' qui vaudra, pour la consommation, r à l'âge n est calculée, si l'on veut obtenir un intérêt t des capitaux engagés, en admettant que pendant la période de temps qui reste à courir jusqu'à la coupe la valeur fonds et superficie se formera au taux t. C'est cela même qu'exprime la formule :

$$(f + x)(1 + t)^{n-n'} = f + r$$

Si à x nous substituons la valeur de consommation r' du peuplement d'âge n' nous aurons, en appelant θ le taux de formation de la valeur, fonds et superficie, cette dernière étant estimée à sa valeur de consommation

$$(f + r')(1 + \theta)^{n-n'} = f + r$$

$$\text{d'où } (f + r')(1 + \theta)^{n-n'} = (f + x)(1 + t)^{n-n'}.$$

De cette équation il résulte d'une façon évidente

que si θ est plus grand que t il faut que r' soit plus petit que x
— θ est égal à t — égal à x
— θ est plus petit que t — plus grand que x.

C'est-à-dire que la valeur d'avenir est plus grande que la valeur de consommation tant que le taux de formation de la valeur fonds et superficie (1) est plus grand que le taux auquel on fait l'escompte des valeurs futures, c'est-à-dire jusqu'à l'âge appelé N au paragraphe précédent, terme de l'exploitabilité commerciale ou financière pour celui qui achète une forêt en vue de réaliser un placement au taux t (voir plus haut page 430). Pour les bois qui ont dépassé cet âge c'est au contraire la valeur de consommation qui est devenue plus grande que la valeur d'avenir; ces bois doivent être réalisés immédiatement après l'achat : leur présence constitue une perte sèche, un non-sens (économique) dans la forêt. Ils constituent un élément de capital devenu incapable de servir le taux d'intérêt qui sert le surplus et qu'on exige, par hypothèse, du capital engagé.

(1) Voir la note de la page 430 au sujet de la substitution souvent faite à ce taux de celui, plus facile à connaître, auquel s'accroît le volume des peuplements.

CHAPITRE V

EXEMPLES NUMÉRIQUES D'ESTIMATIONS

SOMMAIRE

§ 1. — *Estimation d'un taillis simple.*

Une forêt est mise en vente. Un inventaire y révèle la présence de

1	hectare de taillis âgés de	40	ans.
1	—	35	—
1	—	32	—
2	—	30	—
1	—	27	—
3	—	25	—
5	—	20	—
5	—	15	—
6	—	4	—

Cette forêt est estimée successivement par divers amateurs et, en premier lieu, par un marchand de bois.

I. — Estimation du marchand de bois

Celui-ci achètera la forêt en se proposant d'abattre aussitôt les bois ayant une valeur de consommation et de revendre le surplus. Il commencera par estimer les bois qu'il peut réaliser.

Age des bois	Contenance	Valeur nette des produits façonnés. à l'hectare	au total
40 ans	1 hectare	1.250 fr.	1.250 fr.
35 —	1 —	1.100 —	1.100 —
32 —	1 —	980 —	980 —
30 —	2 —	900 —	1.800 —
27 —	1 —	750 —	750 —
25 —	3 —	640 —	1.320 —
20 —	5 —	380 —	1.900 —
15 —	5 —	200 —	1.000 —
4 —	6 —	»	»
	25 fr.		10.100 fr.

10.100 fr., c'est, pour ce marchand, la valeur des bois sur pied. La meilleure manière, pour lui, de réaliser l'opération serait de s'associer à un autre, marchand de biens ou courtier en immeubles, ou bien encore avec un capitaliste en quête de placements. Ils achèteraient ensemble; le marchand de bois contribuerait au prix d'achat pour 10.100 fr., couperait les bois de 15 ans et plus, et abandonnerait le surplus à son associé.

S'il veut acheter seul il sera bien forcé d'attribuer une valeur au fonds et aux bois de 4 ans, sans quoi il n'aurait aucune chance d'obtenir la forêt dans une vente normale. Comme il n'achète cette portion de la propriété qu'en vue de s'en défaire aussitôt, si possible avec bénéfice, il ne pourra l'estimer que très bon marché et se contentera d'une approximation, pourvu qu'il soit bien sûr du sens de son erreur qui doit être en moins.

Il verra, par exemple, que, dans beaucoup de forêts du pays, on exploite les bois à 25 ans. Il sait, du reste, par l'estimation qu'il a faite de la superficie, que le taillis de 25 ans vaut 640 fr. Il ne risquera guère d'exagérer la valeur du fonds en l'estimant à celle du capital générateur, au taux très attrayant de 5 p. 100, d'un revenu de 600 fr., car il est à peu près certain de trouver facilement amateur sur ces bases.

Le fonds vaudra donc $\frac{600}{1.05^{25} - 1} = 600 \times 0.419 = 251$ fr.

Quant aux bois de 4 ans il les estimera logiquement à la valeur des intérêts, accumulés au taux de 5 p. 100 de la valeur du fonds

depuis 4 ans soit 251 ($\overline{1.05^4} - 1$) = 54 fr. l'hectare, soit, pour 6 hectares, 324 fr.

Le prix offert par le marchand de bois sera donc (1)

pour le fonds 25 hectares à 251 fr.......	6.275 fr.
pour le taillis de 4 ans................	324 —
pour les bois réalisables, de 15 ans et plus.	10.100 —
	16.699 fr.

Telle sera l'estimation du marchand de bois.

II. — Estimation relative faite en vue d'un placement d'argent.

A

Il se présente un amateur qui veut placer son argent à 4 p. 100 en achetant la forêt : il estime ce taux raisonnable parce qu'il prend en considération le degré de sécurité du revenu, la facilité de la gestion, l'agrément de la propriété, etc. Il ne tient pas, du reste, à ce que la forêt soit aménagée de façon à donner un revenu annuel; il coupera les bois lorsqu'ils seront exploitables à son point de vue, qui est celui de la réalisation d'un taux de 4 p. 100.

Il commencera par rechercher la valeur du fonds.

S'il admet l'âge d'exploitation de 15 ans le fonds aura, comme capital générateur d'un revenu de 200 fr. tous les 15 ans au taux de 4 p. 100, une valeur de

$$\frac{200}{\overline{1.04}^{15} - 1} = 200 \times 1,249 = 250 \text{ fr.}$$

Le même calcul donnerait pour un âge d'exploitation de

20 ans......................	319 fr.
25 —	384 —
27 —	398 —
30 —	401 —
32 —	391 —
35 —	374 —

etc.

(1) Ce mode d'estimation n'a évidemment aucune prétention scientifique : c'est celui d'un homme d'affaires qui veut obtenir un bénéfice raisonnable en faisant une opération commerciale. Il va sans dire que, dans la pratique, on doit tenir compte des frais d'achat ou de vente, du bénéfice du marchand, etc., termes dont il est inutile de nous embarrasser dans ces exemples.

Il conclura de là que, pour lui, la plus grande valeur qu'il puisse attribuer au fonds est 401 fr., correspondant à un âge d'exploitation de 30 ans.

B

Nous savons aussi, par ce qui précède, qu'en estimant le fonds à 401 fr. l'on obtiendra un taux de placement de 4 p. 100 en coupant à 30 ans, et que, si l'on coupait à tout autre âge, on réaliserait un taux inférieur (voir page 411). Nous savons encore que, puisqu'à 30 ans le maximum du taux de placement est réalisé, le taux de formation de la valeur fonds et superficie à cet âge sera de 4 p. 100 (voir page 354) et que les bois ayant dépassé l'âge de 30 ans ne peuvent trouver place dans la forêt, incapables qu'ils sont de servir, par leur accroissement, un intérêt de 4 p. 100 du capital qu'ils représentent unis au fonds qui les porte. Notre amateur devra donc considérer les bois de 30 ans et plus comme réalisables immédiatement. Il les estimera

1	hectare bois de	40 ans, valeur de consommation...		1250 fr.
1	—	35	—	1100 —
1	—	32	—	980 —
2	—	30	—	1800 —
				5.130 fr.

C'est une valeur à réaliser de suite, car la présence de ces bois, nous le répétons, serait une absurdité économique dans la forêt que nous avons définie; elle serait contradictoire avec les hypothèses combinées de la réalisation d'un taux de 4 p. 100 et d'une valeur pour le fonds de 401 francs.

Les autres bois seront estimés à leur valeur d'avenir *erga dominum*, c'est-à-dire comme les intérêts à 4 p. 100 de la valeur du fonds, à savoir :

Les bois de 4 ans $401\,(\overline{1.04}^{4} - 1) = 68$ fr. l'hectare,
soit pour 6 hectares................ 408 fr.

Les bois de 15 ans $401\,(\overline{1.04}^{15} - 1) = 321$ fr. l'hectare,
soit pour 5 hectares................ 1.605 —

Les bois de 20 ans $401\,(\overline{1.04}^{20} - 1) = 477$ fr. l'hectare,
soit pour 5 hectares................ 2.385 —

Les bois de 25 ans $401(\overline{1.04}^{25}-1)=668$ fr. l'hectare,

soit pour 3 hectares................	2.004 fr.
Les bois de 27 ans 1 hectare à 401 $(\overline{1.04}^{27}-1)$...	754 —
	7.156 fr.

La valeur totale de la superficie sera donc :

Bois de 30 ans et plus, estimés à la valeur de consommation..................................	5.130 fr.
Bois de moins de 30 ans, estimés à leur valeur d'avenir *erga dominum*.......................	7.156 —
Le fonds vaut : 25 hectares à 401 fr. l'un......	10.025 —
Valeur totale, fonds et superficie.	22.311 fr.

Telle sera la valeur pour ce second amateur. Elle sera bien supérieure à celle calculée par le marchand de bois (qui était de 16.699 fr.), ce qui résulte naturellement.

1° De ce que le second amateur a attribué à tous les bois de moins de 30 ans une valeur supérieure à leur valeur de consommation ;

2° De ce que le marchand de bois, pour être plus sûr de revendre facilement le fonds, ne l'a estimé qu'à 251 fr., tandis que le capitaliste pouvait le payer 401 fr. l'hectare.

C

Un troisième amateur vise la forêt : il veut en faire une exploitation aménagée fournissant tous les ans un revenu constant; par exemple 1 hectare de bois de 25 ans. Il veut de plus que les capitaux qu'il engagera dans l'acquisition lui rapportent un intérêt de 4 p. 100.

Il commencera par diviser la forêt en 25 coupes annuelles.

Les bois de	40 ans,	couvrant	1 hectare,	formeront	1 coupe,	le n°	1.
—	35	—	1 —	—	1 —	—	2.
—	32	—	1 —	—	1 —	—	3.
—	30	—	2 hectares	—	2 coupes	—	4 et 5.
—	27	—	1 hectare	—	1 coupe	—	6.
—	25	—	3 hectares	—	3 coupes	—	7 à 9.
—	20	—	5 —	—	5 —	—	10 à 14.
—	15	—	5 —	—	5 —	—	15 à 19.
—	4	—	6 —	—	6 —	—	20 à 25.

Les coupes seront exploitées dans l'ordre de leurs numéros. Il est facile de voir que les produits, pendant la première révolution, seront :

1re année,	1 hectare	de bois de	40	ans, valant	1.250 fr.
2e	—	—	36	—	1.130 —
3e	—	—	34	—	1.060 —
4e	—	—	33	—	1.020 —
5e	—	—	34	—	1.060 —
6e	—	—	32	—	980 —
7e	—	—	31	—	940 —
8e	—	—	32	—	980 —
9e	—	—	33	—	1.020 —
10e	—	—	30	—	900 —
11e	—	—	31	—	940 —
12e	—	—	32	—	980 —
13e	—	—	33	—	1.020 —
14e	—	—	34	—	1.050 —
15e	—	—	29	—	850 —
16e	—	—	30	—	900 —
17e	—	—	31	—	940 —
18e	—	—	32	—	980 —
19e	—	—	33	—	1.020 —
20e	—	—	23	—	540 —
21e	—	—	24	—	590 —
22e	—	—	25	—	640 —
23e	—	—	26	—	690 —
24e	—	—	27	—	750 —
25e	—	—	28	—	800 —

A partir de la vingt-cinquième année, l'aménagement sera réalisé et le revenu sera uniformément de 640 fr. par an.

La valeur de la forêt pour ce troisième amateur sera formée de la somme de tous ces revenus escomptés.

Le 1er 1.250 fr., immédiat............ 1.250 fr.

Le 2e 1.130 — dans 1 an, $\frac{1,130}{1.04} = 1.086$ —

Le 3e 1.060 — — 2 — $\frac{1,060}{1.04^2} = 970$ —

Le 4e	1.020 fr.	dans 3 ans	....	907 fr.
Le 5e	1.060 —	— 4 —	....	906 —
Le 6e	980 —	— 5 —	....	806 —
Le 7e	940 —	— 6 —	....	843 —
Le 8e	980 —	— 7 —	....	745 —
Le 9e	1.020 —	— 8 —	....	746 —
Le 10e	900 —	— 9 —	....	632 —
Le 11e	940 —	— 10 —	....	635 —
Le 12e	980 —	— 11 —	....	637 —
Le 13e	1.020 —	— 12 —	....	638 —
Le 14e	1.050 —	— 13 —	....	630 —
Le 15e	850 —	— 14 —	....	493 —
Le 16e	900 —	— 15 —	....	500 —
Le 17e	940 —	— 16 —	....	502 —
Le 18e	980 —	— 17 —	....	410 —
Le 19e	1.020 —	— 18 —	....	504 —
Le 20e	540 —	— 19 —	....	256 —
Le 21e	590 —	— 20 —	....	269 —
Le 22e	640 —	— 21 —	....	281 —
Le 23e	690 —	— 22 —	....	291 —
Le 24e	750 —	— 23 —	....	304 —
Le 25e	800 —	— 24 —	....	312 —
				15.553 fr.

Les revenus, à partir du 26e, seront uniformément de 640 fr. par an. Leur valeur totale, dans 25 ans, sera $\frac{640}{0{,}04} = 16.000$, somme qui, ramenée à l'actualité, devient

$$\frac{16.000}{1.04^{25}} = 16.000 \times 0{,}3751 = 6.002 \text{ fr.}$$

La valeur sera donc, en fonds et superficie, 15.553 + 6.002 = 21.555.

Telle sera l'estimation de ce troisième amateur. Elle s'élèvera à un chiffre moindre que celle du second parce qu'il consent bénévolement, en vue de la réalisation de l'état aménagé, à laisser sur pied des peuplements dont la production ne correspond plus au taux de 4 p. 100, qui a été pris pour base de l'estimation.

§ 2. — *Estimation d'un taillis-sous-futaie.*

I. — MÉTHODE PAR LE CALCUL (THÉORIQUE).

Une forêt de taillis-sous-futaie nous présente en réalité autant d'exploitations parfaitement distinctes qu'il y a de natures de produits différents.

Chacune de ces exploitations doit être estimée séparément. Chacune possède son capital, son revenu, son taux de placement spécial.

Le taux de placement de l'ensemble résulte du rapport des revenus totalisés aux capitaux totalisés. C'est comme une moyenne des taux de placement de quatre ou cinq forêts différentes et économiquement indépendantes les unes des autres, car l'une d'elles peut être réduite d'importance ou même supprimée sans que le mode de fonctionnement des autres en soit le moins du monde altéré. Ce taux de placement moyen est évidemment celui qui intéresse le propriétaire, lequel envisage en bloc les quatre ou cinq exploitations différentes que constitue sa forêt. Mais il n'intéresse aucune de ces exploitations en particulier et ne peut servir à les estimer.

C'est ainsi que le propriétaire d'une forêt produisant chaque année

du taillis de 25 ans,
des arbres de 50 —
des arbres de 75 —
et des arbres de 100 —

possède, en réalité, quatre exploitations distinctes. La première a un revenu annuel r_1 et un capital C_1; son taux de placement est $\frac{r_1}{C_1}$.

La deuxième a un revenu r_2, un capital C_2, un taux $\frac{r_2}{C_2} = t_2$.

—	r_3	—	C_3		$\frac{r_3}{C_3} = t_3$.
—	r_4	—	C_4		$\frac{r_4}{C_4} = t_4$.

l'ensemble a un revenu $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$, un capital $C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$ et un taux $T = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}$.

T pourra être égal à 3,5 p. 100, par exemple, bien que la quatrième exploitation, celle qui produit des arbres de 100 ans, n'ait que 2 p. 100 pour taux de placement, car la deuxième exploitation, celle qui produit des modernes, ou la première, celle du taillis, fonctionnant à des taux supérieurs à 3,5 p. 100 il y aura compensation.

C'est précisément là, comme nous avons déjà eu l'occasion de le faire remarquer, un avantage du taillis-sous-futaie : il permet à un propriétaire de produire de très gros arbres, sans que le taux de placement de l'ensemble de son domaine tombe au-dessous d'une limite très acceptable, grâce à cette circonstance qu'il produit forcément, en même temps, d'autres marchandises à un taux plus rémunérateur (1).

Le seul moyen correct en théorie pour évaluer une pareille forêt est d'estimer séparément chacune des exploitations qui la constituent comme si elle était seule.

Le taillis constituera, par exemple, sur *n* p. 100 de l'étendue, une exploitation aménagée qui s'estimera comme un taillis simple.

(1) Cet avantage, qui se retrouve dans la futaie claire et la futaie jardinée, mérite d'être relevé une fois de plus ici. Il ne faut pas dire que dans le taillis-sous-futaie on produit des chênes de 0m,70 de diamètre avec un taux de placement de 3,5 p. 100 ; ce serait faux. La partie du fonds de la forêt qui est occupée par l'exploitation aboutissant au chêne de 0.70, les nombreux arbres en croissance qui l'occupent, ont, ensemble, une valeur capitale qui, opposée au revenu en chênes de 0.70, fait ressortir pour cette partie de la forêt un taux de placement bien inférieur, de 2 p. 100 par exemple, ou bien moins encore. Mais à côté de cette exploitation s'en trouve une autre aboutissant au chêne de 0m,25 ou 0m,30 de diamètre et dont le taux de placement peut atteindre 4 ou 5 p. 100 ; le bloc des deux exploitations formera un ensemble fonctionnant au taux de 3,5 p. 100.

C'est ainsi qu'un capitaliste qui s'est formé un portefeuille renfermant pour 100.000 fr. de rente consolidée anglaise qui lui rapporte par exemple 2.600 fr. au taux de 2,60 p. 100 et 100.000 fr. de rente bulgare qui rapportera 5.400 fr. au taux de 5.40 p. 100 aura bien un ensemble de 200.000 fr. rapportant 8.000 fr. et dont le taux de placement sera de 4 p. 100, mais il se duperait lui-même, ou duperait les autres, s'il présentait sa combinaison comme un moyen de placer 100.000 fr. en consolidés anglais au taux de 4 p. 100.

L'exploitation des modernes constituera, sur *n'* p. 100 de l'étendue, une exploitation produisant des arbres de 50 ans. De même pour les exploitations d'arbres qui fournissent les anciens et bisanciens.

Cette théorie est compliquée, de nature à rebuter beaucoup d'esprits.

Les calculs à effectuer sont longs, minutieux, et, ce qui est plus grave, incertains par suite de la variation inévitable, avec le temps, des taux et des revenus, variation dont il est impossible de tenir compte.

Aussi cette méthode théorique n'est-elle *jamais* appliquée et nous ne la mentionnons ici que pour mémoire.

II. — Méthode empirique (pratique).

En pratique on opère *toujours* plus simplement, par exemple comme suit : on estime à leur valeur de consommation tous les arbres de la réserve. Le fonds et les taillis s'estiment comme dans le cas de taillis simples.

Ou bien encore, si l'on veut serrer la réalité de plus près :

On estime à leur valeur de consommation les arbres ayant passé la dimension de moderne. Les taillis et baliveaux s'estiment en bloc à ce que vaudrait cet élément du capital s'il était uniquement employé à produire des taillis et des modernes.

Soit, par exemple, une parcelle de taillis-sous-futaie dont les taillis sont actuellement âgés de 10 ans. On les exploite à 25 ans et ils donnent alors un revenu de 650 fr. plus 25 modernes valant 3 fr. l'un. Un inventaire des arbres de réserve existants comprenant tous les arbres ayant dépassé l'âge de 50 ans, nous montre que ceux-ci ont une valeur de consommation actuelle de 550 fr. La valeur de la forêt sera

Arbres passant-anciens ou plus âgés, valeur de consommation..... 550 fr.

Fonds (plus les baliveaux de l'âge) fournissant tous les 25 ans 650 fr. en

taillis et 75 fr. en modernes, au taux de 4 p. 100 .... $\frac{725}{1.04^{25}-1} =$ 435 fr.

Valeur de l'accroissement de 10 ans obtenu sur les recrûs et sur les baliveaux .... $435[1.04^{10}-1] =$ 208 —

Valeur totale .... 1.193 fr.

Ce procédé, théoriquement inexact, suffit cependant dans la pratique. Il est le seul employé dans les estimations faites en vue d'un achat, d'une vente ou d'un partage. Il a le grand avantage d'être simple, accessible à tous, et de n'introduire dans le calcul qu'un minimum d'hypothèses toujours discutables sur le taux de placement et la valeur future des bois.

§ 3. — *Estimation d'une forêt jardinée ou d'une futaie pleine aménagée à long terme.*

Il ne serait sans doute pas impossible d'échafauder un procédé théoriquement soutenable pour l'estimation, en fonction de son revenu, d'une forêt jardinée ou d'une futaie pleine aménagée à long terme. Mais les complications et les incertitudes seraient telles que nous nous bornerons à indiquer la méthode pratique ci-dessous :

On estimera à leur valeur de consommation tous les bois à partir d'une certaine dimension, de 0 m. 15 de diamètre par exemple.

Le fonds s'estimera soit par la méthode directe, soit, de préférence, d'après ce qu'il vaudrait dans une exploitation uniquement employée à produire des bois de petite dimension, par exemple de la dimension de 0 m. 15 à partir de laquelle les bois ont été inventoriés. Les bois de moins de 0 m. 15 s'estimeront à la valeur d'avenir qu'ils auraient dans cette exploitation.

On obtiendra ainsi une valeur approchée, mais suffisamment exacte dans la pratique.

Dans la plupart des cas, du reste, le matériel d'une futaie jardinée ou pleine est considérable et vaut, valeur de consommation, 5000 fr., 6000 fr., ou même davantage à l'hectare. La généralité des estimateurs négligent alors purement et simplement les bois n'ayant pas de valeur de consommation.

DEUXIÈME PARTIE

EXPERTISES FORESTIÈRES

CHAPITRE PREMIER

EXPERTISES MOTIVÉES PAR UNE ATTEINTE A LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE

SOMMAIRE

§ *1. — Principes généraux des expertises.*

Lorsqu'une forêt a subi un dommage, l'indemnité à fournir au propriétaire par celui qui a la responsabilité du tort causé doit s'estimer d'après les principes généraux suivants ;

Le propriétaire lésé doit être rétabli le plus promptement et le plus complètement possible dans sa situation ancienne.

Cette règle si claire, si équitable, comporte quelques commentaires dans son application à la matière des forêts.

Quand la propriété forestière a été atteinte, par exemple dans son matériel qui a été partiellement détruit, il existe souvent plusieurs manières de rétablir l'état ancien. Le matériel ne peut, sans doute, être augmenté qu'au prix d'économies sur le revenu, mais ces économies peuvent être réparties sur une période plus ou moins longue et amener la restitution de l'état ancien par des combinaisons à échéance plus ou moins différée. Le propriétaire de la forêt a le droit d'exiger la solution la plus prompte, *dût-elle être la plus coûteuse pour le fauteur du dommage.*

La situation ancienne doit être rétablie *identiquement.* Le propriétaire devra avoir non seulement un revenu égal, mais identique. Nul ne peut l'obliger, si son revenu était formé par des bois de 50 ans, à accepter un revenu égal en bois de 30 ou de 40. Il avait organisé sa forêt sur un type à sa convenance, on doit lui en rétablir une identique, *et non pas une autre, fût-il démontré que cette autre est plus avantageuse à certains points de vue.*

On lui doit, en particulier, non pas seulement de rétablir son revenu ancien, mais aussi son capital ancien et, par suite, le taux de placement ancien. D'où cette conséquence qui domine toute la matière du calcul des indemnités forestières :

Les objets détruits ou enlevés doivent toujours être estimés à leur valeur *erga dominum*, c'est-à-dire en se basant sur le taux auquel fonctionnait la forêt lorsqu'il lui a été porté atteinte. Tous les calculs d'intérêt auxquels les expertises donnent lieu doivent toujours être basés sur l'emploi de ce taux, seul équitable au cas particulier.

Toute expertise d'indemnité débute donc nécessairement par le calcul du taux de placement de la forêt endommagée.

Ce calcul est facile, ou tout au moins possible dans le cas d'exploitations réglées. Mais ce cas n'est pas toujours réalisé.

Un incendie détruit, par exemple, une plantation de pins nouvellement faite, âgée de 10 ans. Quel taux employer pour le calcul de sa valeur? A défaut de toute indication sur l'âge auquel le propriétaire aurait coupé ses bois, celui-ci est fondé à réclamer qu'on présume l'âge d'où il résulte pour son bois la valeur maxima. C'est-à-dire qu'on l'estimera sur la base de l'exploitabilité commerciale, à un taux qui paraîtra raisonnable, étant données la sécurité et les autres conditions du revenu.

La fixation de ce taux sera toujours une occasion de dissentiments et, finalement, de procès. Les compagnies d'assurances contre l'incendie les évitent généralement en stipulant à forfait, dans leurs polices, un taux qui est souvent de 4 p. 100. Lorsqu'une pareille stipulation est valablement faite, l'expert n'a qu'à en tenir compte. Mais il est nécessaire que le propriétaire et la compagnie d'assurances sachent, au moment où ils rédigent la police, qu'ils s'exposent à des mécomptes dans le cas où la forêt fonctionnerait à un taux différent de celui accepté à forfait.

Lorsque le terme de l'exploitabilité commerciale ne peut pas facilement être déterminé, le bon sens et l'équité commanderont à l'expert de s'inspirer d'abord des habitudes du propriétaire. Si celui-ci possède d'autres forêts, il est vraisemblable qu'il eût traité celle qui a été atteinte de la même manière. Si cette base fait aussi défaut, on peut présumer qu'il aurait suivi, dans la forêt atteinte, les errements de ses voisins, le traitement et les âges de coupe usités dans le pays par ceux qui passent pour exploiter en bons pères de famille.

Il est évident qu'il ne peut être tenu compte, dans ce qui va suivre, que des valeurs déduites du revenu en argent de la forêt et non pas des valeurs de convenance, d'affection. Celles-

ci sont souvent très grandes, mais ne peuvent être établies par le calcul. Leur évaluation, à défaut d'une entente amiable, rentre dans la compétence du juge ou du jury, et sort du domaine de l'expert.

Ces simples règles de conduite suffiront à un expert intelligent, jointes aux principes d'estimation exposés dans la première partie de cette étude, pour résoudre toutes les questions qui peuvent se poser. Nous allons traiter, à titre d'exemples, quelques-uns des cas qui se présentent le plus fréquemment (1).

§ 2. — *Dommages affectant l'immeuble en entier, fonds et superficie.*

I

Si une forêt tout entière est enlevée à un propriétaire, par exemple à la suite d'une expropriation, l'indemnité se composera de la valeur *erga dominum* de la forêt, fonds et superficie.

Exemple : on enlève à un propriétaire sa forêt consistant en un hectare de taillis âgé de dix ans. Quelle sera l'indemnité à payer?

Soit un taux de placement de 4 p. 100 admis comme celui des forêts similaires dans la région. Le fonds aura une valeur qui, calculée d'après les unités de prix admises plus haut (Ire partie, chapitre V, § 1), serait de 401 fr., cette valeur correspondant à l'âge d'exploitation de 30 ans.

La valeur fonds et superficie sera donc, celle-ci étant âgée de 10 ans :

$$401 \times \overline{1.04}^{10} = 593 \text{ fr.}50.$$

Ce calcul admet que le propriétaire aurait coupé ses bois à 30 ans, terme de l'exploitabilité commerciale. Si l'on supposait un

(1) Nous pouvons, grâce à la publication récente de l'ouvrage si complet de M. Jacquot *Incendies en forêt* (Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1903), nous dispenser ici de tout détail sur les formalités légales des expertises et sur la rédaction des rapports. Nous nous contentons de renvoyer à ce consciencieux travail pour tout ce qui concerne cette partie du sujet.

autre âge d'exploitation la valeur du fonds serait toujours 401 fr., mais le taux de placement de la forêt ne serait plus 4 p. 100, il serait moindre, et, par suite, moindre aussi la valeur *erga dominum* de la superficie. C'est ainsi que l'on verrait facilement que, si le taillis avait dû être exploité à 20 ans, âge auquel sa valeur de consommation est de 380 fr., sa valeur *erga dominum* à 10 ans ne serait plus que de 112 fr. 30 et l'indemnité se réduirait à 513 fr. 30. Cette remarque est, au cas particulier, d'intérêt purement théorique, car le propriétaire sera toujours fondé à prétendre qu'il eût coupé à un âge tel que la valeur d'avenir actuelle du peuplement soit la plus grande possible.

Dans le cas où on laisserait au propriétaire la disposition du produit du recépage de son bois, la valeur de ce produit est naturellement à déduire de l'indemnité. Si, par exemple, ce recépage fournit 800 fagots à 10 fr. le cent, ce sera une somme de 80 fr. à déduire du résultat calculé ci-dessus.

II

Une expropriation enlève à une forêt aménagée tout ou partie de plusieurs de ses coupes. On peut alors distinguer deux cas :

A) Ou bien le propriétaire renonce bénévolement à l'état aménagé et se contente d'exploiter les coupes qui lui restent aux mêmes époques qu'autrefois, sauf à n'avoir qu'un revenu réduit ou nul les années où les coupes atteintes ou supprimées viennent en tour ;

B) Ou bien il réclame le rétablissement d'un nouvel état aménagé sur ce qui subsiste de sa forêt.

A

Il peut paraître assez invraisemblable que le propriétaire renonce, de plein gré, à l'état aménagé dans sa forêt. C'est cependant le cas le plus fréquent, et voici pourquoi :

Un propriétaire qui a été troublé dans sa jouissance, par exemple par la construction d'une route, d'une ligne de chemin

de fer, a hâte, le plus souvent, de se retrouver maître chez lui et de voir les géomètres, experts, etc., sortir de sa forêt. Aussi préfère-t-il laisser les choses dans l'état où on les a mises que de subir le dérangement de nouvelles opérations d'arpentage qu'entraînera l'étude d'un nouvel aménagement qu'il faudra ensuite discuter, et qui sera suivi du défrichement de lignes, déplacement de bornes, ouverture de laies sommières, reboisement de lignes anciennes, etc., etc. Ces opérations, bien que n'occasionnant aucune dépense pour le propriétaire, lui susciteront des tracas que souvent il préférera éviter.

Il agira surtout de la sorte si les coupes atteintes ne doivent venir en tour qu'à une époque éloignée, c'est-à-dire s'il a la perspective de pouvoir longtemps encore, peut-être toujours à son point de vue personnel, continuer exactement sa pratique ancienne. Il pourra d'ailleurs réclamer une indemnité en argent pour « dommages accessoires », en invoquant la destruction de l'état aménagé sans en exiger le rétablissement.

Quoi qu'il en soit, voici comment on calculerait l'indemnité dans ce cas. Soit une forêt aménagée à n ans, produisant un revenu r au taux t. On lui enlève, par exemple, moitié de la coupe dont l'âge actuel est de n' ans.

Le dommage subi résulte de ce que, toutes les fois que la coupe atteinte vient en tour, le revenu est $\frac{r}{2}$ au lieu de r. Ce dommage sera subi tous les n ans. Si nous nous reportons par la pensée à n' ans en arrière, nous serons alors en présence d'une perte $\frac{r}{2}$ à subir tous les n ans et pour la première fois dans n ans.

Un capital égal à $\dfrac{\frac{r}{2}}{(1+t)^n - 1}$ la compensera exactement, car il produira, au même taux que celui de la forêt, des revenus égaux à $\frac{r}{2}$, c'est-à-dire à la perte, aux époques même où celle-ci se fera sentir.

Si la valeur de l'indemnité eût été $\dfrac{\frac{r}{2}}{(1+t)^n - 1}$ il y a n' ans sa valeur actuelle sera $\dfrac{\frac{r}{2}(1+t)^{n'}}{(1+t)^n - 1}$.

Si plusieurs coupes étaient atteintes on ferait un calcul identique pour chacune d'elles.

B

Si le propriétaire, allant jusqu'à la limite de son droit, exige le rétablissement le plus prompt possible de l'état aménagé, il appartiendra à l'expert d'étudier les combinaisons qui amèneront ce résultat dans le plus bref délai.

Il déterminera les revenus, année par année, pendant la période de reconstitution, puis le revenu uniforme après cette reconstitution obtenue. Les différences de ces revenus avec le revenu ancien, escomptées au taux auquel fonctionnait la forêt, donneront le total de l'indemnité. Ce calcul est tout à fait analogue à celui que nous avons développé plus haut (page 439) à une autre occasion et nous croyons pouvoir nous dispenser de le répéter ici.

§ 3. — *Dommages affectant la superficie seulement.*

I

Soit un taillis aménagé à l'âge n, produisant un revenu annuel r au taux t. Un incendie (1) parcourt la coupe âgée de n' ans. Ces bois doivent être recépés entièrement. Quel est l'indemnité à payer au propriétaire?

Nous devons distinguer deux cas :

(1) Nous renvoyons pour plus de détails sur les dégâts des incendies, sur les constatations de fait auxquelles donnent lieu les expertises dans ce cas, à l'ouvrage précité de M. Jacquot (1re partie, pages 25 à 54, et IVe partie, pages 285 à 329). On y trouvera tous les détails désirables sur la matière.



A) Ou bien le propriétaire, renonçant de son plein gré à l'état aménagé, ne reportera pas la hache dans la coupe incendiée avant que les bois n'y aient atteint l'âge d'exploitation n;

B) Ou bien il continuera de suivre l'ancien règlement d'exploitation.

A

Le propriétaire ne réclamant aucune indemnité pour trouble d'aménagement, on n'a à lui payer que ce que valait, pour lui, le taillis détruit, c'est-à-dire

$$r\frac{(1+t)^{n'}-1}{(1+t)^{n}-1}.$$

On arrive au même résultat par le raisonnement suivant :

Supposons-nous reportés à n ans après le recépage des bois incendiés. Le moment est venu de les couper à nouveau. Cette opération effectuée, le propriétaire dispose d'une somme r. Si l'incendie n'avait pas eu lieu la coupe aurait été faite n' années plus tôt et le propriétaire disposerait d'une somme $r(1+t)^{n'}$. Sa perte est donc, à ce moment $r\left[(1+t)^{n'}-1\right]$; elle se répète tous les n ans et pour la première fois dans n ans, la valeur du capital qui la compense est $r\frac{(1+t)^{n'}-1}{(1+t)^{n}-1}$.

C'est ainsi que l'indemnité se calcule presque toujours lorsque les bois ont été assurés contre l'incendie, les compagnies d'assurances ayant soin de stipuler dans leurs polices qu'elles ne paieront aucune indemnité pour trouble d'aménagement.

B

Soit au contraire que l'on tienne au rétablissement de l'état aménagé ancien. $n-n'$ années après le recépage, le règlement d'exploitation ramènera en tour le parquet incendié. Il portera des bois de $n-n'$ ans. On doit envisager deux cas :

1er cas. — Si $n-n'$ est très petit, c'est-à-dire si les bois incendiés étaient voisins de leur âge d'exploitation, il sera tout indiqué de passer outre, et de ne couper dans ce parquet qu'au

second passage. Alors les bois y seront âgés de $n - n' + n = 2n - n'$ ans et vaudront r' francs, somme supérieure à r.

On aura donc d'une part à subir dans $n - n'$ années la suppression d'un revenu r, c'est-à-dire une perte dont la valeur actuelle est $\frac{r}{(1+t)^{n-n'}}$ et d'autre part on bénéficiera, dans $2n$-n' années d'un revenu r' plus grand, au lieu de r. Ce bénéfice vaut actuellement $\frac{r'-r}{(1+t)^{2n-n'}}$.

L'indemnité sera égale à la différence $\frac{r}{(1+t)^{n-n'}} - \frac{r'-r}{(1+t)^{2n-n'}}$.

2[e] *cas*. — Si $n - n'$ est voisin de n, c'est-à-dire si les bois incendiés étaient très jeunes, il sera au contraire indiqué de faire une coupe lorsque le règlement d'exploitation ramènera en tour le parquet incendié. Il portera des bois de $n - n'$ ans dont la valeur sera r'', plus petite que r. La perte, égale à $r - r''$, sera subie dans $n - n'$ années. Sa valeur actuelle, montant de l'indemnité, est $\frac{r - r''}{(1+t)^{n-n'}}$.

Si le feu, en même temps qu'il a fait périr le taillis, a de plus éprouvé les souches, il peut arriver qu'un repeuplement artificiel devienne nécessaire ; ses frais s'ajoutent à l'indemnité. L'atteinte portée aux souches, la substitution d'une plantation à l'ancien taillis, la destruction des feuilles mortes, de l'humus, etc., occasionneront une diminution des premiers revenus à percevoir dans l'avenir. L'expert estimera ces pertes ou diminutions de revenus et les escomptera en bloc avec les autres considérées ci-dessus.

Il est évident, du reste, que la valeur du *sauvetage*, c'est-à-dire le produit net du recépage des bois incendiés, qui reste à la disposition du propriétaire, doit être déduite du montant de l'indemnité calculée comme nous avons fait ci-dessus.

II

Supposons une parcelle de taillis-sous-futaie d'une étendue d'un hectare. Elle a été parcourue par un incendie à la suite duquel le taillis, âgé de 10 ans, a dû être recépé. Les baliveaux passant-modernes ont, eux aussi, paru assez atteints pour que leur abatage ait été effectué. Le revenu net produit par la vente, après recépage, des bois incendiés, est de 40 fr.

Commençons par nous rendre compte du revenu que donnait la forêt dans son état ancien. Un inventaire nous y révèle la présence :

De 45 arbres de 15 à 20 centimètres de diamètre : ce sont les baliveaux passant-modernes;

De 25 arbres de 25 à 35 centimètres de diamètre : ce sont les modernes passant-anciens;

De 10 arbres de 40 à 50 centimètres de diamètre : ce sont les anciens passant-bisanciens.

Les différences d'âge entre ces trois catégories d'arbres sont en moyenne de 25 ans. Nous tirons de là cette conclusion que, dans la forêt, l'âge d'exploitation habituel des taillis était de 25 ans.

Le revenu était formé, tous les 25 ans (1):

De 10 arbres de 100 ans (bisanciens), valant 20 fr. l'un, soit..................................	200 fr.
De 25-10 ou 15 arbres de 75 ans (anciens), valant 9 fr. l'un, soit..................................	135 —
De 45-25 ou 20 arbres de 50 ans (modernes), valant 2 fr. l'un, soit..................................	40 —
De taillis de 25 ans, estimé.....................	515 —
Au total de..................	890 fr.

Le fonds vaut, par exemple, 500 fr. Les arbres maintenus après une coupe valent :

(1) Nous répétons une fois de plus que les chiffres donnés ici ne le sont que pour nous permettre de rendre notre exposé plus clair en le précisant et n'ont aucune valeur de moyenne ou autre.

45 baliveaux de 25 ans, à 0 fr. 30 l'un......	13 fr.
25 modernes de 50 ans, à 2 fr. l'un........	50 —
10 anciens de 75 ans à 9 fr. l'un..........	90 —
	153 fr.
Le fonds, de son côté est estimé à...........	500 fr.
Le capital total engagé, immédiatement après la coupe, est donc..........................	653 fr.

Le taux de placement x sera donné par la relation

$$653\,(1+x)^{25} = 653 + 890$$
$$(1+x)^{25} = 2.363$$
$$x = 3{,}5 \text{ p. } 100.$$

C'est ce taux de 3,5 p. 100 qui va servir de base à nos calculs.

Dans 15 ans après l'incendie, le moment d'une exploitation est arrivé. Nous aurons à récolter :

10 arbres de	100 ans, valant........		200 fr.
15	—	75	135 —
0	—	50	»
Plus du taillis de 15 ans, clairiéré, car beaucoup de souches ont péri après l'incendie, du reste assez chétif, le sol ayant été fortement calciné à la surface; sa valeur sera de......			140 —
Total du revenu dans 15 ans			475 fr.

Le revenu ancien était de 890 fr. La perte à supporter dans 15 ans est donc de 890 — 475; ramenée à l'actualité, elle devient $\dfrac{890 - 475}{1{,}035^{15}} = 248$ fr.

Nous ne pouvons marquer aucun baliveau dans ce taillis chétif qui, d'ailleurs, n'a pas l'âge voulu pour en fournir.

25 ans plus tard, dans 40 ans, la coupe reviendra en tour,

Nous aurons à récolter :

10 arbres	de	100 ans, valant........		200 fr.
0	—	75	....	»
0	—	50	....	»

du taillis de 25 ans, sur lequel nous prélèverons 45 baliveaux ; le surplus donnera...... 400 —

Total du revenu dans 40 ans............ 640 fr.

Le revenu ancien était de 890 fr. La perte à supporter dans 40 ans est donc de 890 — 640 ; ramenée à l'actualité, elle devient $\frac{890 - 640}{1,035^{40}} = 60$ fr.

Encore 25 ans plus tard, dans 65 ans, la coupe reviendra en tour.

Nous aurons à récolter ;

0 arbres	de	100 ans valant........		»
0	—	75	....	»
20	—	50	....	40 fr.

Du taillis de 25 ans, sur lequel nous prélèverons 45 baliveaux ; le surplus donnera...... 475 —

Total du revenu dans 65 ans............. 515 fr.

Le revenu ancien était de 890 fr. La perte à supporter dans 65 ans est donc de 890 — 515 ; ramenée à l'actualité, elle devient $\frac{890 - 515}{1,035^{65}} = 40$ fr.

Encore 25 ans plus tard, dans 90 ans, la coupe reviendra en tour.

Nous aurons à récolter

0 arbres	de	100 ans, valant........		»
15	—	75	....	135 fr.
20	—	50	....	40 —

Du taillis de 25 ans sur lequel nous prélèverons 45 baliveaux ; le surplus donnera...... 515 —

Total du revenu dans 90 ans............ 690 fr.

Le revenu ancien était de 890 fr. La perte à supporter dans 90 ans est donc de 890 — 650 ; ramenée à l'actualité, elle devient $\frac{890 - 650}{1,035^{90}} =$ 9 fr.

Enfin dans 115 ans la forêt sera reconstituée et la coupe, revenant en tour, produira, comme avant l'incendie :

10 arbres de	100 ans valant........	200 fr.	
15 —	75	135 —	
20 —	50	40 —	
Du taillis de 25 ans....................		515 —	
		890 fr.	

L'indemnité totale due au propriétaire sera donc

pour la perte à subir dans	15 ans.................	248 fr.
— —	40 —	63 —
— —	65 —	40 —
— —	90 —	9 —
		340 fr.
Dont il faut déduire le sauvetage estimé...........		40 —
Reste net à payer.............................		300 fr.

Il paraît inutile de multiplier ces exemples. Ce qui précède. suffit à éclairer sur la méthode à appliquer à chaque cas particulier,

CHAPITRE II

EXPERTISES MOTIVÉES PAR LA CONDITION D'USUFRUIT

SOMMAIRE

§ 1. — ***Notions générales sur l'usufruit.***

Usufruit conventionnel, usufruit légal. Cas les plus fréquents d'usufruit légal. Droits et obligations de l'usufruitier.

§ 2. — ***L'usufruit forestier.***

Difficultés auxquelles donne lieu la constitution d'un usufruit forestier. Articles 590 à 592 du Code civil. Usufruit dans un taillis simple. Usufruit des taillis-sous-futaie; impossibilité d'établir un plan de balivage rigoureux. Usufruit des futaies; abus dont les éclaircies peuvent être l'occasion.

Inconvénients de l'usufruit pour l'usufruitier lui-même.

Inconvénients de l'usufruit forestier au point de vue de l'ordre public. L'usufruit forestier est une occasion de gaspillage, de destruction de richesses sans compensation. Il est une source de discorde et de désunion dans les familles.

La meilleure solution du problème de l'usufruit : Rachat rendu légalement obligatoire à la requête de l'une des parties.

§ 3. — ***Aménagements usufructuaires.***

Impossibilité d'aménager une forêt sans modifier son état ni sa valeur. L'expert chargé d'un règlement usufructuaire doit s'inspirer des intérêts de la forêt, conformément aux usages locaux, sauf compensations à accorder, suivant les cas, à l'usufruitier. Conclusions.

§ 1. — *Notions générales sur l'usufruit.*

L'Usufruit est un droit de jouissance limité au revenu d'un immeuble. Le revenu est ce qui *naît et renaît de la chose*, sans que celle-ci soit modifiée dans son état ni sa valeur.

L'usufruit est conventionnel ou légal. Dans ce dernier cas, il appartient, par exemple, aux parents sur les biens personnels de leurs enfants mineurs (âgés de moins de 18 ans), à la com-

munauté issue du mariage sur les biens propres des époux, à l'époux survivant sur une partie des biens du prédécédé (loi du 9 mars 1891), etc., etc. C'est donc une situation très fréquente que la condition d'usufruit pour un immeuble, et notamment pour un immeuble forestier.

Avant d'entrer en jouissance, l'usufruitier doit supporter l'établissement d'un état des lieux. S'il en est expressément dispensé par un titre le nu-propriétaire pourra néanmoins exiger cet état des lieux, mais il devra alors en supporter les frais.

L'usufruitier a le droit d'administrer. Il se sert lui-même. Il doit jouir suivant l'usage local des bons pères de famille, quand même le propriétaire précédent lui aurait donné un autre exemple. Le nu-propriétaire peut contrôler sa gestion, réclamer des dommages-intérêts et même faire prononcer la déchéance en cas d'abus de jouissance.

Le nu-propriétaire ne peut intervenir dans la gestion pour la diriger : il ne peut que protester contre des faits accomplis. Il ne peut pas, notamment, imposer un règlement d'exploitation. L'usufruitier ne peut pas davantage obliger, pour sa sécurité, le propriétaire à faire un pareil règlement.

L'usufruit porte, son nom l'indique, sur le fruit. L'usufruitier d'une maison en touchera les loyers, tous les trimestres par exemple, si c'est l'usage local. Celui d'une terre en touchera le fermage ou en récoltera les produits tous les ans. De même celui d'une forêt aménagée fera la coupe annuelle, suivant l'aménagement. Celui d'une forêt à revenu périodique touchera le revenu périodique, lorsque ce revenu viendra à échéance pendant la durée de l'usufruit.

L'usufruitier ne peut pas ouvrir de nouvelles carrières dans la forêt (sauf, sans doute, pour l'entretien des routes forestières), mais il peut continuer l'exploitation de celles qui existent. Il jouit de la chasse et des autres menus produits (pâturage, glandées, feuilles mortes, etc.) dans la limite conciliable avec la gestion du bon père de famille.

§ 2. — *L'usufruit forestier* (1).

Le seul cas dans lequel l'usufruit constitué sur une forêt ne donne l'occasion à aucune difficulté est celui d'une exploitation de peuplement aménagée, sans produit intermédiaire, par exemple d'un taillis simple.

La forêt est divisée en vingt parquets portant des bois âgés de un à vingt ans. L'usufruitier exploitera chaque année celui qui vient en tour, la forêt restera, autant que la nature des choses le comporte, en même état et valeur.

Dans tous les autres cas, même dans les forêts aménagées, l'usufruit donne lieu à des difficultés graves, souvent inextricables.

Soit une forêt aménagée en taillis-sous-futaie. L'état des lieux, qui ne doit jamais être omis, révélera, par exemple, le nombre des baliveaux passant-modernes et celui des modernes passant-anciens qui se trouvent dans toute la forêt. En faisant la différence des deux nombres, et en divisant cette différence par le nombre des parquets de coupes, on connaîtra la quantité de modernes qu'on peut couper annuellement sans modifier l'importance du matériel. Un calcul analogue donnerait le nombre d'anciens ou de bisanciens à réaliser annuellement.

Malheureusement ces chiffres ne sont que des moyennes, s'appliquant à l'ensemble de la forêt, et qui se trouveront en

(1) Les articles du Code civil qui traitent de l'usufruit forestier portent les nos 590 à 592. Voici leur texte :

Art. 590. — Si l'usufruit comprend des bois taillis, l'usufruitier est tenu d'observer l'ordre et la quotité des coupes conformément à l'aménagement ou à l'usage constant des propriétaires, sans indemnité toutefois, en faveur de l'usufruitier ou de ses héritiers, pour les coupes ordinaires, soit de taillis, soit de baliveaux, soit de futaies qu'il n'aurait pas faites pendant sa jouissance.

Art. 591. — L'usufruitier profite encore, toujours en se conformant aux époques et à l'usage des anciens propriétaires, des parties des bois de haute futaie qui ont été mises en coupes réglées, soit que ces coupes se fassent périodiquement sur une certaine étendue de terrain, soit qu'elles se fassent d'une certaine quantité d'arbres pris indistinctement sur toute la surface du domaine.

Art. 592. — Dans tous les autres cas, l'usufruitier ne peut toucher aux arbres de haute futaie : il peut seulement employer, pour faire les réparations dont il est tenu, les arbres arrachés ou brisés par accident ; il peut même, pour cet objet, en faire abattre, s'il est nécessaire, mais à la charge d'en faire constater la nécessité avec le propriétaire.

défaut ou même absurdes lorsqu'on voudra les utiliser dans un des parquets pris en particulier. Le procédé de calcul exposé ci-dessus nous apprend, par exemple, que la coupe moyenne porte sur 100 modernes, 60 anciens et 20 bisanciens. Mais voici que le parquet venant en tour est exceptionnellement pauvre en arbres; il ne renferme que 95 modernes, 50 anciens et 10 bisanciens. Les coupera-t-on tous? Ce serait conforme à la règle du revenu moyen, mais sera-ce le fait du bon père de famille? Autre cas : un des parquets renferme 30 bisanciens de grande valeur. L'usufruitier les coupera-t-il tous les 30, alléguant que l'aménagement ne comporte pas la réserve d'arbres de plus de quatre révolutions, ou n'en coupera-t-il que 20, parce que telle est la règle du revenu moyen? S'il les coupe tous il appauvrit la forêt. S'il ne les coupe pas tous il l'enrichit. Comment trancher la question (1)?

L'usufruitier, comme le père de famille, devra, lors de ses balivages, réserver les beaux arbres et couper d'abord ceux qui sont viciés, mal conformés, etc. Son intérêt l'excitera à faire le contraire, d'autant plus que le revenu que donnera ce parquet, lorsqu'il reviendra en tour dans 25 ou 30 ans, ne sera ni pour lui, ni pour ses enfants. Qui décidera du choix des arbres à couper? Le nu-propriétaire n'est pas invité au balivage. Il ne pourra que réclamer des dommages-intérêts après que le mal sera fait, et irréparable.

On voit à quelles difficultés, à quelles absurdités peut se heur-

(1) On a dit que ces difficultés ne sont qu'apparentes, la jurisprudence admettant une compensation sur toutes les coupes exploitées par l'usufruitier.

Pour qu'une compensation fût possible il faudrait que l'usufruit durât plusieurs années, ce qui peut fort bien ne pas arriver. En tout cas elle ne peut être que future et incertaine. Là n'est du reste pas la question, car il n'y aura compensation que si l'usufruitier s'y prête bénévolement et dans ce cas, il est clair que l'entente sera toujours possible. La difficulté résulte de ce que la coupe par l'usufruitier, dès qu'elle ne peut plus être conforme à la règle du rendement moyen, devient arbitraire, facilement abusive. Elle provient encore de ce qu'on peut toujours discuter si l'on doit, raisonnablement, appliquer ou non à une coupe en particulier la règle du revenu moyen; celle-ci devient ainsi illusoire, et le nu-propriétaire reste à peu près désarmé vis-à-vis d'un usufruitier de mauvaise foi.

ter la jouissance usufructuaire même dans les forêts à revenus annuels.

Si le revenu est périodique, la situation devient plus difficile encore.

Une parcelle de taillis de 21 ans vient à être grevée d'usufruit au profit d'une veuve âgée. Elle prétendra le couper tout aussitôt, alléguant que son mari, prédécédé, avait coupé autrefois à cet âge et qu'un voisin vient, lui aussi, de recéper un taillis de 20 ans. Le moment de la récolte serait venu, elle pourrait récolter le fruit mûr.

Les héritiers du mari interviendront : le voisin qui a coupé à 20 ans, le propriétaire précédent dont on allègue l'exemple ont profité du droit d'abuser qui n'appartient pas à l'usufruitier. Celui-ci doit jouir en bon père de famille, et, comme tel, il ne doit pas couper ses bois avant 25 ans. Il existe, du reste, dans le pays, des forêts aménagées à cet âge.

Comment trancher la difficulté? Le juge appréciera, sans doute, mais sur quelles bases?

Dans le cas d'une futaie, la situation est la même au fond, bien que la loi distingue entre les futaies mises en coupes réglées et les autres. Cette distinction avait sa raison d'être au XVI[e] siècle, alors que presque toutes les hautes futaies subsistantes constituaient des *réserves* où l'on ne puisait que dans des cas imprévus. Où sont aujourd'hui de pareilles réserves, naturellement fermées à l'usufruitier puisque leur essence même est de ne donner aucun fruit, mais de conserver des richesses à retrouver en un besoin? Nous ne voyons guère à ranger parmi les forêts non mises en coupes que les forêts de protection (contre les avalanches, érosions, etc.), et les forêts ou parcs de pur agrément. L'usufruitier est tenu de leur conserver leur caractère.

Dans tous les autres cas, les futaies sont en coupes réglées. Du reste les notaires sont si bien habitués à stipuler, dans les actes constitutifs d'usufruit, que « la futaie est en coupe réglée » que

cette déclaration, d'ailleurs superflue, croyons-nous, ne manque jamais de figurer.

Voici donc une surface de terrain d'une cinquantaine d'hectares, une ancienne terre labourée, que le propriétaire, lassé de n'en recueillir que des tracas, s'est décidé à ensemencer en pins sylvestres il y a 25 ans. Il meurt sans enfants, sa veuve devient usufruitière, des parents éloignés sont propriétaires.

L'usufruitière coupera-t-elle immédiatement les bois sur toute la surface, réalisant ainsi peut être 50 ou 60.000 francs, qu'elle transmettra à ses héritiers, laissant à ceux du propriétaire un terrain nu si elle vient à mourir elle-même l'année suivante? Ou bien ces derniers héritiers, les propriétaires actuels, pourront-ils s'opposer à la coupe et pendant combien de temps?

Un autre danger de l'usufruit se manifeste dans la pratique des éclaircies. Ces utiles opérations peuvent devenir l'occasion de véritables désastres lorsqu'elles sont pratiquées sans autre souci que celui de la recette immédiate, par un usufruitier naturellement pressé de liquider le capital forestier et d'anticiper sur le revenu de l'avenir.

On peut, du reste, abuser de la forêt de mille manières. On peut exploiter les taillis sans soin, détériorer l'ensouchement. On peut négliger les travaux d'amélioration, exagérer les récoltes de menus-produits, faucher les herbes sans relâche, agrandir les vides, enlever les feuilles mortes, la mousse, l'humus, jusqu'au sol végétal lui-même. Certains propriétaires n'agissent pas autrement. Qui dira où cesse l'usage du père de famille et où commence l'abus?

Si la situation du nu-propriétaire d'une forêt grevée d'usufruit est fâcheuse, celle de l'usufruitier présente aussi des inconvénients, dont voici les principaux :

En dehors du cas très net de la forêt aménagée en taillis simple et divisée sur le terrain en coupes annuelles, la jouissance de l'usufruitier pourra toujours être discutée. Dans un taillis-sous-

futaie on pourra toujours blâmer les balivages, intenter un procès. Dans une futaie aménagée, les opérations pourront être critiquées même si elles ont été faites de bonne foi. Comment soutenir et prouver qu'une éclaircie n'a été abusive? Or son revenu peut varier du simple au décuple, peut-être, suivant l'esprit dans lequel on la fait.

Si la forêt n'est pas aménagée la situation de l'usufruitier peut devenir peu enviable. Il est tenu à des dépenses annuelles, il paie les impôts, solde les gardes, entretient les routes, les maisons, etc. Mais la forêt ne présente aucun bois exploitable; elle est couverte sur toute son étendue de jeunes taillis de 1 à 10 ans. L'usufruitier aura donc toutes les charges de la propriété sans autre compensation que les menus-produits (chasse, pâturage dans les cantons défensables, etc.). Et il risque de voir l'usufruit prendre fin précisément à la veille du jour où la récolte sera mûre, de sorte que son rôle se sera borné à entretenir un immeuble dont le nu-propriétaire viendra recueillir, en un jour, la production accumulée pendant 10 ou 20 ans peut-être.

Tous deux, nu-propriétaire et usufruitier, ont donc intérêt à s'entendre. LA MEILLEURE ENTENTE POSSIBLE, à notre avis, CONSISTERAIT DANS LA SUBSTITUTION D'UNE RENTE ANNUELLE EN ARGENT A LA JOUISSANCE USUFRUCTUAIRE. Le propriétaire y gagnerait, nous venons de le montrer suffisamment. L'usufruitier y gagnerait en tranquillité et aussi très souvent en revenu : il serait certain de toucher au moins quelque chose, tandis qu'il n'était certain que des charges immédiates et risquait de voir le bénéfice lui échapper finalement.

Cette circonstance, que les deux intéressés gagnent à la solution que nous indiquons, suffirait, sans doute, à légitimer l'intervention du législateur qui devrait l'imposer pour le cas où l'une des parties méconnaîtrait ses avantages. L'intervention coercitive de la loi se justifierait du reste encore par des motifs d'ordre public. L'usufruit est une occasion de gaspillage, de destruction de richesses. L'usufruitier a intérêt à tirer de la

forêt plus qu'elle ne peut donner d'une façon continue, à consommer le capital avec le revenu, profitant de l'extrême difficulté, spéciale aux forêts, de la distinction entre ce capital et ce revenu. Lorsqu'une réaction, lorsqu'une période d'épargne s'imposera pour réparer les abus de l'usufruitier, celui-ci ne sera plus là pour en subir les conséquences. C'est pourquoi l'usufruit forestier est une source de ruines, une cause d'appauvrissement pour la nation. *Ce cas est spécial à la forêt parce que les abus peuvent s'y continuer longtemps avant que les conséquences en deviennent évidentes* (1).

Mais nous avons contre l'usufruit forestier d'autres griefs, plus graves, et d'ordre plus relevé.

L'usufruit forestier, qui appauvrit les patrimoines, devient encore un pire fléau : il devient une source de procès, de discordes, dans l'intérieur des familles jusque-là les plus unies. Il met les enfants en opposition d'intérêts avec leurs père et mère, les héritiers du mari en guerre avec la veuve. Nous en avons vu des exemples infiniment lamentables.

Nous voudrions que, de même que la loi autorise le propriétaire forestier à se débarrasser de la servitude usagère malgré la résistance de l'usager, elle autorisât aussi le rachat de l'usufruit, à la requête de l'une des parties, ou son remplacement par une rente qui pourrait être gagée sur l'immeuble précédemment grevé.

§ 3. — *Aménagements usufructuaires.*

A défaut de la solution légale si désirable, il est au moins pos-

(1) L'usufruit d'une terre cultivée ne présente pas les mêmes inconvénients : si l'usufruitier négligeait les labours ou les apports d'engrais il en serait puni dès la première année. De même, si l'usufruitier d'une maison néglige le menu entretien, le délabrement de l'immeuble en sera la conséquence immédiate et visible à tous les yeux. En matière de forêt il peut-être très délicat, même pour un spécialiste expérimenté, de tracer la limite entre le capital et le revenu, entre l'usage légitime et l'abus. De plus les conséquences de l'abus le plus énorme, le plus certain, commis par l'usufruitier, ne se feront sentir que beaucoup plus tard et ne pèseront ni sur lui, ni sur ses héritiers. Celui qui a ruiné une coupe de taillis-sous-futaie dans une forêt aménagée n'en jouira pas moins, l'année suivante, d'une nouvelle coupe en bon état : ce n'est que dans un quart de siècle, quand la coupe reviendra en tour, que les conséquences du méfait se feront sentir.

sible d'obtenir une solution conventionnelle, par l'accord des intéressés. Soit à l'amiable, soit à la suite d'un premier procès qui aura fait sentir aux deux parties l'utilité d'une entente, on se décidera, soit à remplacer l'usufruit par une rente en argent; ce qui serait la solution parfaite, soit à faire établir par un expert un règlement de jouissance. Examinons rapidement le rôle de l'expert ainsi appelé à intervenir.

Lorsque l'usufruit porte sur une forêt aménagée la tâche de l'expert sera simple. Il aura à déterminer le revenu moyen, ce à quoi il parviendra par une étude attentive et intelligente du matériel d'exploitation. L'usufruitier aura droit à une rente en argent au moins égale pendant le temps que durera sa jouissance. On peut présumer que le plus souvent il sera nécessaire de majorer cette rente, car l'usufruitier demande plus à la forêt, en général, que ne ferait le père de famille. Le propriétaire a, du reste, intérêt à faire une concession, même assez large, pour affranchir son immeuble et le soustraire à tout risque.

S'il n'est pas possible de racheter l'usufruit d'une forêt aménagée il sera très désirable, dans l'intérêt de tous, que la marque des coupes au moins, sinon la gestion, soit confiée à un expert honnête et compétent, désigné d'un commun accord. En recourant aux offices d'un tiers désintéressé et capable, les deux parties s'éviteront bien des difficultés, des soucis et des pertes.

Lorsque la forêt grevée d'usufruit n'est pas aménagée, le rôle de l'expert devient plus délicat. Nous croyons que le plus sage, dans ce cas, serait de faire un règlement d'exploitation en vue d'amener progressivement la forêt à l'état habituel des forêts aménagées similaires dans la région. Dans le cas où cette solution diminuerait les chances de l'usufruitier on l'indemniserait, soit en l'autorisant à pratiquer, à titre anormal, double ou triple coupe pendant les premières années, sauf à suivre ensuite l'aménagement, soit en lui versant une somme en deniers, ce qui serait préférable. Prenons un exemple.

Voici 40 hectares couverts de pins provenant d'un semis fait

il y a 25 ans. Le propriétaire meurt; la veuve est usufruitière et les héritiers du mari ont la nue-propriété.

Il nous semble que, dans ce cas, l'expert devra partager la forêt en 40 parties égales, par exemple, si 40 ans est l'âge d'exploitation habituel des pineraies dans la région. Chacune de ces parties serait exploitée successivement, à blanc, ou avec réserve de quelques baliveaux destinés à rester jusqu'à la seconde coupe. Les exploitations seraient suivies du repeuplement immédiat des parties usées. Une pareille solution satisfera le propriétaire; elle satisfera aussi l'usufruitier, qui échangera la certitude d'un revenu immédiat, rapidement croissant, contre la chance d'un revenu très grand qu'il aurait *peut-être* réalisé dans 10 ou 15 ans.

Si les bois étaient plus âgés, s'ils avaient 30 ans par exemple, il est probable que l'usufruitier résisterait à une pareille combinaison.

Il serait du reste, alors, indiqué de réduire la durée de la première révolution des coupes en partageant la forêt en 35 parquets seulement, ce qui augmenterait déjà la part de l'usufruitier. On pourrait, de plus, l'autoriser à réaliser deux ou même trois parquets à la fois pendant deux ou trois ans, plus ou moins, suivant son âge, suivant les circonstances. Il vaudra mieux, sans doute, réduire l'importance des coupes anormales et prolonger leur durée. Au point de vue de la forêt, il sera préférable de faire double coupe pendant trois ans plutôt que triple coupe pendant deux ans : l'usufruitier préférera naturellement cette dernière combinaison.

Une solution analogue est applicable, en principe, à tous les cas. Un expert intelligent, expérimenté, et possédant des connaissances techniques suffisantes trouvera, pour chaque espèce, la combinaison la plus convenable.

Sans doute cet aménagement ne laissera pas la forêt en même état et valeur, pour la raison bien simple que *cela est impossible*. La règle générale du droit ne s'applique pas à l'usufruit forestier, elle est du reste formellement et explicite-

ment abrogée par les articles 590 à 592 précités du Code civil. A cette règle générale, dont il serait absurde de vouloir s'inspirer, parce qu'elle est contradictoire avec la nature des choses en forêt, il est nécessaire de substituer une convention acceptée.

La meilleure solution de la question de l'usufruit, nous tenons à le répéter en finissant, est sa suppression par le rachat, rendu obligatoire par la loi, à la requête de l'une ou l'autre des parties.

Si ces quelques pages consacrées à l'étude de l'usufruit forestier pouvaient contribuer à répandre notre conviction, à la faire partager et sanctionner par ceux qui s'occupent en ce moment même de la révision du Code civil, nous croirions avoir rendu service à tous les propriétaires forestiers. Nous aurions aussi la conviction d'avoir contribué à la sauvegarde d'un élément de richesse très considérable en France, où plus des deux tiers des forêts sont entre les mains des particuliers.

APPENDICE

Nous donnons ci-après, en appendice à cette étude, trois tables destinées à faciliter les calculs auxquelles donnent lieu les estimations et expertises forestières.

Le tarif I donne les valeurs de $(1 + t)^n$ pour toutes les grandeurs usuelles de t et de n. Ce sont les facteurs par lesquels on doit multiplier une somme s'accroissant à intérêts composés, au taux t, pour avoir sa valeur, capital et intérêts accumulés, au bout de n années accomplies.

Ce tarif I suffit à la rigueur, à lui seul, à tous les calculs. Cependant, pour les simplifier davantage encore, nous plaçons à la suite du tarif I deux autres tarifs.

Le tarif II donne les valeurs de $\frac{1}{(1 + t)^n}$. Ce sont les facteurs par lesquels on doit multiplier, pour avoir sa valeur actuelle, la valeur qu'aura, au bout de n années accomplies, une somme d'argent, s'accroissant à intérêts composés au taux t.

Le tarif III donne les valeurs de $\frac{1}{(1 + t)^n - 1}$. Ce sont les facteurs par lesquels il faut multiplier la valeur de revenus périodiques égaux, récoltés tous les n ans, et pour la première fois dans n ans, pour avoir celle du capital qui les produit en s'accroissant au taux t.

Le tarif I, seul indispensable, admet une variation de n jusqu'à 220 ans. Les autres tarifs étant moins utiles, il nous a paru suffisant de les publier pour des valeurs de n allant jusqu'à 80 ans.

TARIF I

ANNÉES	TARIF I. — FACTEUR $(1+t)^n$						
	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
1	1,020	1,025	1,030	1,035	1,040	1,045	1,050
2	1,040	1,051	1,061	1,071	1,082	1,092	1,102
3	1,061	1,077	1,093	1,109	1,125	1,141	1,158
4	1,082	1,104	1,125	1,147	1,170	1,192	1,215
5	1,104	1.131	1,159	1,188	1,217	1,246	1,276
6	1,126	1,160	1,194	1,229	1,265	1,302	1,340
7	1,149	1,189	1,230	1,272	1.316	1,361	1,407
8	1,172	1,218	1,267	1,317	1,369	1,422	1,477
9	1,195	1,249	1,305	1,363	1,423	1,486	1,551
10	1,219	1,280	1,344	1,411	1,480	1,553	1,629
11	1,243	1,312	1,384	1,460	1,539	1,623	1,710
12	1,268	1,345	1,426	1,511	1,601	1,696	1,796
13	1,294	1,378	1,468	1,564	1,665	1,772	1,886
14	1,319	1,413	1,513	1,619	1,732	1,852	1,980
15	1,346	1,448	1,558	1,675	1,801	1,935	2,079
16	1,373	1,484	1,605	1,734	1,873	2,022	2,183
17	1,400	1,522	1,653	1,795	1,948	2.113	2,292
18	1.428	1,560	1,702	1,857	2,026	2,208	2,407
19	1,457	1,599	1,753	1.922	2,107	2,308	2,527
20	1.486	1,639	1,806	1,990	2,191	2,412	2,653
21	1,516	1,680	1,860	2,059	2,279	2,520	2,786
22	1,546	1.722	1,916	2.131	2.370	2,634	2,925
23	1,577	1,765	1.974	2,206	2,465	2,752	3,071
24	1,608	1,809	2,033	2,283	2,563	2,876	3,225
25	1,641	1,854	2,094	2,363	2,666	3,005	3,386
26	1,673	1,900	2,157	2,446	2,772	3,141	3,556
27	1,707	1,948	2,221	2,532	2,883	3,282	3,733
28	1,741	1,996	2,288	2,620	2,999	3,430	3,920
29	1,776	2,046	2,357	2,712	3,119	3 584	4,116
30	1,811	2,098	2,427	2,807	3,243	3,745	4,322
31	1,848	2,150	2,500	2,905	3,373	3,914	4,538
32	1,884	2,204	2,575	3,007	3,508	4,090	4,765
33	1,922	2,259	2,652	3,112	3,648	4,274	5,003
34	1,961	2,315	2,732	3,221	3,794	4,466	5,253
35	2,000	2,373	2,814	3,334	3,946	4,667	5,516
36	2,040	2,432	2,898	3,450	4.104	4,877	5,792
37	2,081	2,493	2,985	3,571	4,268	5,097	6,081
38	2,122	2,556	3,075	3,696	4,439	5,326	6.385
39	2,165	2,620	3,167	3,825	4.616	5,566	6,705
40	2,208	2,685	3,262	3,959	4,801	5,816	7,040

TARIF I. — FACTEUR $(1 + t)^n$

ANNÉES	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
41	2,252	2,752	3,360	4,098	4,993	6,078	7,392
42	2,297	2,821	3,461	4,241	5,193	6,352	7,762
43	2,343	2,891	3,564	4,390	5,400	6,637	8,150
44	2,390	2,964	3,671	4,543	5,616	6,936	8,557
45	2,438	3,038	3,782	4,702	5,841	7,248	8,985
46	2.487	3,114	3,895	4,867	6,075	7,574	9,434
47	2,536	3,192	4,012	5,037	6,318	7,915	9,906
48	2,587	3,271	4,132	5,214	6,570	8,271	10,401
49	2,639	3,353	4,256	5,396	6.833	8,644	10,921
50	2,692	3,437	4,384	5,585	7,107	9,033	11,467
51	2,745	3,523	4,515	5,7[illegible]0	7,391	9,439	12,041
52	2,800	3,611	4,651	5,983	7,687	9,864	12,643
53	2,856	3,701	4,790	6,192	7,994	10,308	13,275
54	2.913	3,794	4,934	6,409	8,314	10,772	13,939
55	2,972	3,889	5,082	6,633	8,646	11,256	14,636
56	3,031	3,986	5,235	6,865	8,992	11.763	15,367
57	3,092	4,086	5,392	7.106	9,352	12,292	16,136
58	3,154	4,188	5,553	7,354	9,726	12,845	16,943
59	3,217	4,292	5,720	7,612	10,115	13,423	17,790
60	3,281	4,400	5,892	7,878	10,520	14,027	18,679
61	3,347	4,510	6,068	8,154	10,940	14,659	19,613
62	3,414	4.622	6,250	8,439	11,378	15,318	20,594
63	3,482	4,738	6,438	8,735	11,833	16.008	21,623
64	3,551	4,856	6,631	9,040	12,306	16,728	22,705
65	3,622	4,978	6,830	9,357	12,799	17,481	23,840
66	3,695	5,102	7,035	9,684	13,311	18,267	25,032
67	3,769	5,230	7,246	10,023	13,843	19,089	26,283
68	3.844	5,361	7,463	10,374	14,397	19,948	27,598
69	3,921	5,495	7,687	10,737	14,973	20,846	28,977
70	4,000	5,632	7,918	11,113	15,572	21,784	30,426
71	4,079	5,773	8,155	11,502	16,194	22.764	31,948
72	4,161	5,917	8,400	11,904	16,842	23,789	33,545
73	4,244	6,065	8,652	12,321	17,516	24,859	35,222
74	4,329	6,217	8,912	12,752	18,217	25,978	36,983
75	4,416	6,372	9,179	13,198	18,945	27,147	38,833
76	4.504	6,531	9,454	13,660	19.703	28,369	40,774
77	4,594	6,695	9,738	14,139	20,491	29,645	42,813
78	4,686	6.862	10;030	14,633	21,311	30,979	44,954
79	4,780	7,034	10,331	15,146	22,163	32,373	47,201
80	4,875	7,210	10,641	15,676	23,050	33,830	49,561

ANNÉES	TARIF I. — FACTEUR $(1+t)^n$						
	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
81	4,973	7,390	10,960	16,224	23,972	35,352	52,039
82	5,072	7,575	11,289	16,792	24,931	36,943	54,641
83	5,174	7,764	11,628	17,380	25,928	38,606	57,374
84	5,277	7,958	11,976	17,988	26,965	40,343	60,242
85	5,383	8,157	12,336	18,618	28,044	42,158	63,254
86	5,490	8,361	12,706	19,269	29,165	44,056	66,417
87	5,600	8,570	13,087	19,944	30,332	46,038	69,738
88	5,712	8,784	13,480	20,642	31,545	48,110	73,225
89	5,827	9,004	13,884	21,364	32,807	50,275	76,886
90	5,943	9,229	14,300	22,112	34,119	52,537	80,730
91	6,062	9,460	14,729	22,886	35,484	54,901	84,767
92	6,183	9,696	15,171	23,687	36,903	57,372	89,005
93	6,307	9,938	15,626	24,516	38,380	59,954	93,455
94	6,433	10,187	16,095	25,374	39,915	62,651	98,128
95	6,562	10,442	16,578	26,262	41,511	65,471	103,035
96	6,693	10,703	17,075	27,181	43,172	68,417	108,186
97	6,827	10,970	17,588	28,133	44,899	71,496	113,596
98	6,963	11,244	18,115	29,117	46,695	74,713	119,275
99	7,103	11,526	18,659	30,137	48,562	78,075	125,239
100	7,245	11,814	19,219	31,191	50,505	81,588	131,501
101	7,389	12,109	19,795	32,283	52,525	85,260	138,076
102	7,537	12,412	20,389	33,413	54,626	89,097	144,980
103	7,688	12,722	21,001	34,582	56,811	93,106	152,229
104	7,842	13,040	21,631	35,793	59,084	97,296	159,841
105	7,999	13,366	22,280	37,046	61,447	101,674	167,833
106	8,159	13,700	22,948	38,342	63,905	106,249	176,224
107	8,322	14,043	23,636	39,684	66,461	111,031	185,035
108	8,488	14,394	24,346	41,073	69,119	116,027	194,287
109	8,658	14,754	25,076	42,511	71,884	121,248	204,002
110	8,831	15,123	25,828	43,999	74,760	126,704	214,202
111	9,008	15,501	26,603	45,538	77,750	132,406	224,912
112	9,188	15,888	27,401	47,132	80,860	138,364	236,157
113	9,372	16,285	28,223	48,782	84,094	144,591	247,965
114	9,559	16,692	29,070	50,489	87,458	151,097	260,363
115	9,750	17,110	29,942	52,256	90,957	157,897	273,382
116	9,945	17,537	30,840	54,085	94,595	165,002	287,051
117	10,144	17,976	31,765	55,978	98,379	172,427	301,403
118	10,347	18,425	32,718	57,938	102,314	180,186	316.473
119	10,554	18,886	33,700	59,965	106,406	188,295	332,297
120	10,765	19,358	34,711	62,064	110,663	196,768	348,912

ANNÉES	TARIF I. — FACTEUR $(1 + t)^n$						
	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
121	10,980	19,842	35,752	64,236	115,089	205,623	366,358
122	11,200	20,338	36,825	66,484	119,693	214,876	384,676
123	11,424	20,846	37,929	68,811	124,480	224,546	403,909
124	11,653	21,367	39,067	71,219	129,459	234,650	424 105
125	11,886	21,902	40.239	73,112	134,638	245,210	445,310
126	12,124	22,450	41,446	76,292	140,023	256,244	467,575
127	12,366	23,011	42,690	78,962	145,624	267,775	590,954
128	12,613	23,586	43,971	81.726	151,449	279,825	515,502
129	12,866	24,176	45,290	85,586	157,507	292,417	541,277
130	13,123	24,780	46,648	87,546	163,808	306,986	568,341
131	13,385	25,399	48,048	90,611	170,360	319,327	596,758
132	13,653	26,034	49,489	93,782	177,174	333,696	626,596
133	13,926	26,686	50,974	97,064	184,261	348,713	657,926
134	14,204	27,352	52,503	100,462	191,632	364,405	690,822
135	14,489	28,036	54,078	103,997	199,297	380,803	725,363
136	14,778	28,737	55,701	107,617	207,270	397,939	761.631
137	15,074	29,455	57,372	111,384	215,560	415,847	799,713
138	15,375	30,192	59,093	115,282	224,182	434,560	839,698
139	15,683	30,947	60,865	119,317	233,149	454,115	881,683
140	15,996	31,721	62,691	123,493	242,475	474,550	925,767
141	16,316	32,513	64,572	127,815	252,174	495,905	972,056
142	16,642	33,326	66,509	132,289	262,261	518,220	1.020,658
143	16,976	34,160	68,505	136,919	272,752	541,545	1.071,691
144	17,315	35,013	70,560	141,711	283,662	565,910	1.125,276
145	17,662	35,888	72.677	146,671	295,008	591,376	1.181,540
146	18,014	36.786	74,857	151,804	306,809	617,988	1.240,617
147	18,375	37,706	77,103	157,117	319.081	645,797	1.302,648
148	18,742	38,638	79,416	162,616	331,844	674,858	1.367.780
149	19,117	39,615	81,878	168,308	345,178	705.227	1.436,169
150	19,500	40,605	84,252	174,199	358,923	736,962	1.507,977
160	23,770	51,978	113,229	245,729	531,293	1.144,475	2.456,336
170	28,975	66,536	152,170	346,625	786,444	1.777,335	4.001,113
180	35,321	85,172	204,503	488.948	1.164,129	2.760,147	6.517,392
190	43,056	109,027	274,835	689,710	1.723,191	4.286,424	10.616,140
200	52,485	139,564	369,356	972,904	2.550,750	6.656,686	17.292,580
210	63,980	178,653	496,382	1.372,376	3.775,727	10.337,620	28.167,790
220	77,991	228,691	667,097	1.935,873	5.588,997	16.054.000	45.882,360

TARIF II. — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n}$

ANNÉES	TARIF II. — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n}$						
	2 °/o	2 1/2 °/o	3 °/o	3 1/2 °/o	4 °/o	4 1/2 °/o	5 °/o
1	0,980	0,976	0,971	0,966	0,961	0,957	0,952
2	0,961	0,952	0,943	0,933	0,925	0,916	0,907
3	0,942	0,929	0,915	0,902	0,889	0,876	0,864
4	0,924	0,906	0,888	0,871	0,855	0,839	0,823
5	0,906	0,884	0,863	0,842	0,822	0,802	0,783
6	0,888	0,862	0,837	0,813	0,790	0,768	0,746
7	0,871	0 841	0,813	0,786	0,760	0,735	0,711
8	0,853	0,821	0,789	0,759	0,731	0,703	0,677
9	0,837	0,801	0,766	0,734	0,703	0,673	0,645
10	0,820	0,781	0,744	0,709	0,676	0,644	0,614
11	0,804	0,762	0,722	0,685	0,650	0,616	0,585
12	0,788	0,744	0,701	0,662	0,625	0,590	0,557
13	0,773	0,725	0,681	0,639	0,601	0,564	0,530
14	0,758	0,708	0,661	0,618	0,577	0,540	0,505
15	0,743	0,690	0,642	0,597	0,555	0,517	0,481
16	0,728	0,674	0,623	0,577	0,534	0,494	0,458
17	0,714	0,657	0,605	0,557	0,513	0,473	0,436
18	0,700	0,641	0,587	0,538	0,494	0,453	0,415
19	0,686	0,625	0,570	0,520	0,475	0,433	0,396
20	0 673	0,610	0,554	0,503	0,456	0,415	0,377
21	0,660	0,595	0,537	0,486	0,439	0,397	0,359
22	0,647	0,581	0,522	0,469	0,422	0,380	0,342
23	0,634	0,567	0,507	0,453	0,406	0,363	0,326
24	0,622	0,553	0,492	0,438	0,390	0,348	0,310
25	0,609	0,539	0,478	0,423	0,375	0,333	0 295
26	0,598	0,526	0,464	0,409	0,361	0,318	0,281
27	0,586	0,513	0,450	0,395	0,347	0,305	0,268
28	0,574	0,501	0,437	0,382	0,333	0,292	0,255
29	0,563	0,489	0,424	0,369	0,321	0,279	0,243
30	0,552	0,477	0,412	0,356	0,308	0,267	0,231
31	0,541	0,465	0,400	0,344	0,296	0,255	0,220
32	0,531	0,454	0,388	0,333	0,285	0,244	0,210
33	0,520	0,443	0,377	0,321	0,274	0,234	0,200
34	0,510	0,432	0,366	0,310	0,264	0,224	0,190
35	0,500	0,421	0,355	0,300	0,253	0,214	0,181
36	0,490	0,411	0,345	0,290	0,244	0,205	0,173
37	0,481	0,401	0,335	0,280	0,234	0,196	0,164
38	0,471	0,391	0,325	0,271	0,225	0,188	0,157
39	0,462	0,382	0,316	0,261	0,217	0,180	0,149
40	0,453	0,372	0,307	0,253	0,208	0,172	0,142

TARIF II. — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n}$

ANNÉES	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
41	0,444	0,363	0,298	0,244	0,200	0,164	0,135
42	0,435	0,354	0,289	0,236	0,193	0,157	0,129
43	0,427	0,346	0,280	0,228	0,185	0,151	0,123
44	0,418	0,337	0,272	0,220	0,178	0,144	0,117
45	0,410	0,329	0,264	0,213	0,171	0,138	0,111
46	0,402	0,321	0,257	0,205	0 165	0,132	0,106
47	0,394	0,313	0,249	0,198	0,158	0,126	0,101
48	0,386	0,306	0,242	0,192	0,152	0,121	0,0961
49	9,379	0,298	0,235	0,185	0,146	0,116	0,0916
50	0,371	0,291	0,228	0,179	0,141	0,111	0,0872
51	0,364	0,284	0,221	0,173	0,135	0,106	0,0830
52	0,357	0,277	0,215	0,167	0,130	0,101	0,0791
53	0,350	0,270	0,209	0,161	0,125	0,097	0,0753
54	0,343	0,264	0,203	0,156	0,120	0,0928	0,0717
55	0,336	0,257	0,197	0,151	0,116	0.0888	0,0683
56	0,330	0,251	0,191	0,146	0,111	0,085	0,0651
57	0,323	0,245	0,185	0,141	0,107	0,0813	0,0620
58	0,317	0,239	0,180	0,136	0,103	0,0778	0,0590
59	0,311	0,233	0,175	0,131	0,0989	0,0745	0,0562
60	0,305	0,227	0,170	0,127	0,0951	0,0713	0,0535
61	0,299	0,222	0,165	0,123	0,0914	0,0682	0,0510
62	0,293	0,216	0,160	0,118	0,0879	0,0653	0,0486
63	0,287	0,211	0,155	0,114	0,0845	0,0625	0,0462
64	0,282	0,206	0,151	0,111	0,0813	0,0598	0,0440
65	0,276	0,201	0,146	0,107	0,0781	0,0572	0,0419
66	0,271	0,196	0,142	0,103	0,0751	0,0547	0,0399
67	0,265	0,191	0,138	0,0998	0,0722	0,0524	0,0380
68	0,260	0,186	0,134	0,0964	0,0695	0,0501	0,0362
69	0,255	0,182	0,130	0,0931	0,0668	0,0480	0,0345
70	0,250	0,178	0,126	0,0900	0,0642	0,0459	0,0329
71	0,245	0,173	0,123	0,0869	0,0617	0,0439	0,0313
72	0,240	0,169	0,119	0,0840	0,0594	0,0420	0,0298
73	0,236	0,165	0,116	0,0812	0,0571	0,0402	0,0284
74	0,231	0,161	0,112	0.0784	0,0549	0,0385	0,0270
75	0,226	0,157	0,109	0,0758	0,0528	0,0368	0,0257
76	0,222	0,153	0,106	0,0732	0,0507	0,0352	0,0245
77	0,218	0,149	0,103	0,0707	0,0488	0,0337	0,0234
78	0,213	0,146	0,0997	0,0683	0,0469	0.0323	0,0222
79	0,209	0,142	0,0968	0,0660	0,0451	0,0309	0,0212
80	0,205	0,139	0,0940	0,0638	0,0434	0,0296	0,0202

TARIF III. — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n - 1}$

ANNÉES	TARIF III — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n - 1}$						
	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
1	50,000	40,000	33,333	28,571	25,000	22,222	20,000
2	24,752	19,753	16,420	14,040	12,255	10,867	9,756
3	16,338	13,005	10,784	9,198	8,009	7,084	6,344
4	12,131	9,633	7,968	6,779	5,887	5,194	4,640
5	9,608	7,610	6,278	5,328	4,616	4,062	3,619
6	7,926	6,262	5,153	4,362	3,769	3,308	2,940
7	6,726	5,300	4,350	3,673	3,165	2,771	2,456
8	5,825	4,579	3,748	3,156	2,713	2,369	2,094
9	5,126	4,018	3,281	2,756	2,362	2.057	1,814
10	4,566	3,570	2,908	2,435	2,082	1,808	1,590
11	4,109	3,204	2,603	2,174	1,854	1,605	1,408
12	3,728	2,899	2,349	1,957	1,664	1,437	1,256
13	3,406	2,642	2,134	1,773	1,504	1,295	1,129
14	3,130	2,421	1,951	1,616	1,367	1,174	1,020
15	2,891	2,231	1,792	1,481	1,248	1,069	0,927
16	2,682	2,064	1,654	1,362	1,145	0,978	0,845
17	2,498	1,917	1,532	1,258	1,055	0,898	0,774
18	2,335	1,787	1,424	1,166	0,975	0,827	0,711
19	2,189	1,670	1,327	1,084	0,903	0,765	0,655
20	2,058	1,566	1,240	1,010	0,839	0,708	0,605
21	1,939	1,471	1,162	0,944	0,782	0,658	0,560
22	1,832	1,386	1,092	0,884	0.730	0.612	0,519
23	1,733	1,308	1,027	0,829	0,683	0,571	0,483
24	1,644	1,236	0,968	0.779	0,640	0,533	0,449
25	1,561	1,171	0,914	0,733	0,600	0,499	0,419
26	1,485	1,111	0,865	0,692	0,564	0,467	0,391
27	1,415	1,055	0,819	0,653	0,531	0,438	0,366
28	1,346	1,003	0,776	0,617	0,500	0,412	0,342
29	1,289	0.956	0,737	0,584	0,472	0,387	0,321
30	1,232	0,911	0,701	0,553	0,446	0,364	0,301
31	1,180	0,870	0,667	0,525	0,421	0,343	0.283
32	1,130	0,831	0,635	0,498	0,399	0,324	0,266
33	1,084	0,794	0,605	0,473	0,378	0,305	0,250
34	1,041	0,760	0,577	0,450	0,358	0,288	0.235
35	1,000	0,728	0,551	0,428	0,339	0,273	0,221
36	0,962	0,698	0,527	0,408	0,322	0,258	0,209
37	0,925	0,670	0.504	0,389	0.306	0,244	0,197
38	0,891	0,643	0,482	0,371	0,291	0,231	0,186
39	0,859	0,617	0,461	0,354	0,276	0,219	0.175
40	0,828	0,593	0,442	0,338	0,263	0,208	0,166

TARIF III. — FACTEUR $\frac{1}{(1+t)^n - 1}$

ANNÉES	2 %	2 1/2 %	3 %	3 1/2 %	4 %	4 1/2 %	5 %
41	0,799	0,571	0,424	0,323	0,250	0,197	0,156
42	0,771	0,549	0,406	0,308	0,238	0,187	0,148
43	0,744	0,529	0 390	0,295	0,227	0,177	0,140
44	0,719	0,509	0,374	0,282	0,217	0,168	0,132
45	0,695	0,491	0,359	0,270	0,207	0,160	0,125
46	0,673	0,473	0,345	0,259	0,197	0,152	0,119
47	0,651	0,456	0,332	0,248	0,188	0,145	0,112
48	0,630	0,440	0,319	0,237	0,179	0,137	0,106
49	0,610	0,425	0,307	0,227	0,171	0,131	0,101
50	0,591	0,410	0,295	0,218	0,164	0,124	0,0955
51	0,573	0,396	0,284	0,209	0,156	0,118	0,0906
52	0,555	0,383	0,274	0,201	0,150	0,113	0,0859
53	0,539	0,370	0,264	0,193	0,143	0,107	0,0815
54	0,523	0,358	0,254	0,185	0,137	0,102	0,0773
55	0,507	0,346	0,245	0,177	0,131	0,0975	0,0733
56	0,492	0,335	0,236	0,170	0,125	0,0929	0,0696
57	0,478	0,324	0,228	0,164	0,120	0,0886	0,0661
58	0,464	0,314	0 220	0,157	0,115	0,0844	0,0627
59	0,451	0,304	0,212	0,151	0,110	0.0805	0,0596
60	0,438	0,294	0,204	0,145	0,105	0,0768	0,0566
61	0,426	0,285	0,197	0,140	0,101	0,0732	0,0537
62	0,414	0,276	0,190	0,134	0,0964	0,0698	0,0510
63	0,403	0.267	0,184	0,129	0,0923	0,0666	0,0485
64	0,392	0,259	0,178	0,124	0,0884	0,0636	0,0461
65	0,381	0,251	0,171	0,120	0,0848	0.0607	0,0438
66	0,371	0,244	0,166	0,115	0,0812	0,0579	0,0416
67	0,361	0,236	0,160	0,111	0,0779	0,0553	0,0395
68	0,352	0,229	0,155	0,107	0,0746	0,0528	0,0376
69	0,342	0,222	0,149	0,103	0,0716	0,0504	0,0357
70	0,333	0,216	0,145	0,0989	0,0686	0,0481	0,0340
71	0,325	0,209	0,140	0,0952	0,0658	0,0459	0,0323
72	0,316	0.203	0,135	0,0917	0,0631	0,0439	0,0307
73	0,308	0,197	0,131	0,0883	0,0605	0,0419	0,0292
74	0.300	0,192	0,126	0,0851	0,0581	0,0400	0,0278
75	0,293	0,186	0,122	0,0820	0,0557	0,0382	0,0264
76	0,285	0,181	0,118	0,0790	0,0535	0,0365	0,0251
77	0,278	0,176	0,114	0,0761	0,0513	0,0349	0.0239
78	0,271	0,171	0.111	0,0733	0,0492	0,0334	0,0220
79	0,265	0,166	0,107	0,0707	0,0472	0,0319	0,0216
80	0,258	0,161	0,104	0,0681	0,0453	0,0305	0,0206

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE

L'action des forces naturelles

TROISIÈME PARTIE

Le capital forestier

QUATRIÈME PARTIE

Relations entre le capital et le revenu

SEPTIÈME ÉTUDE

ESTIMATIONS ET EXPERTISES FORESTIÈRES

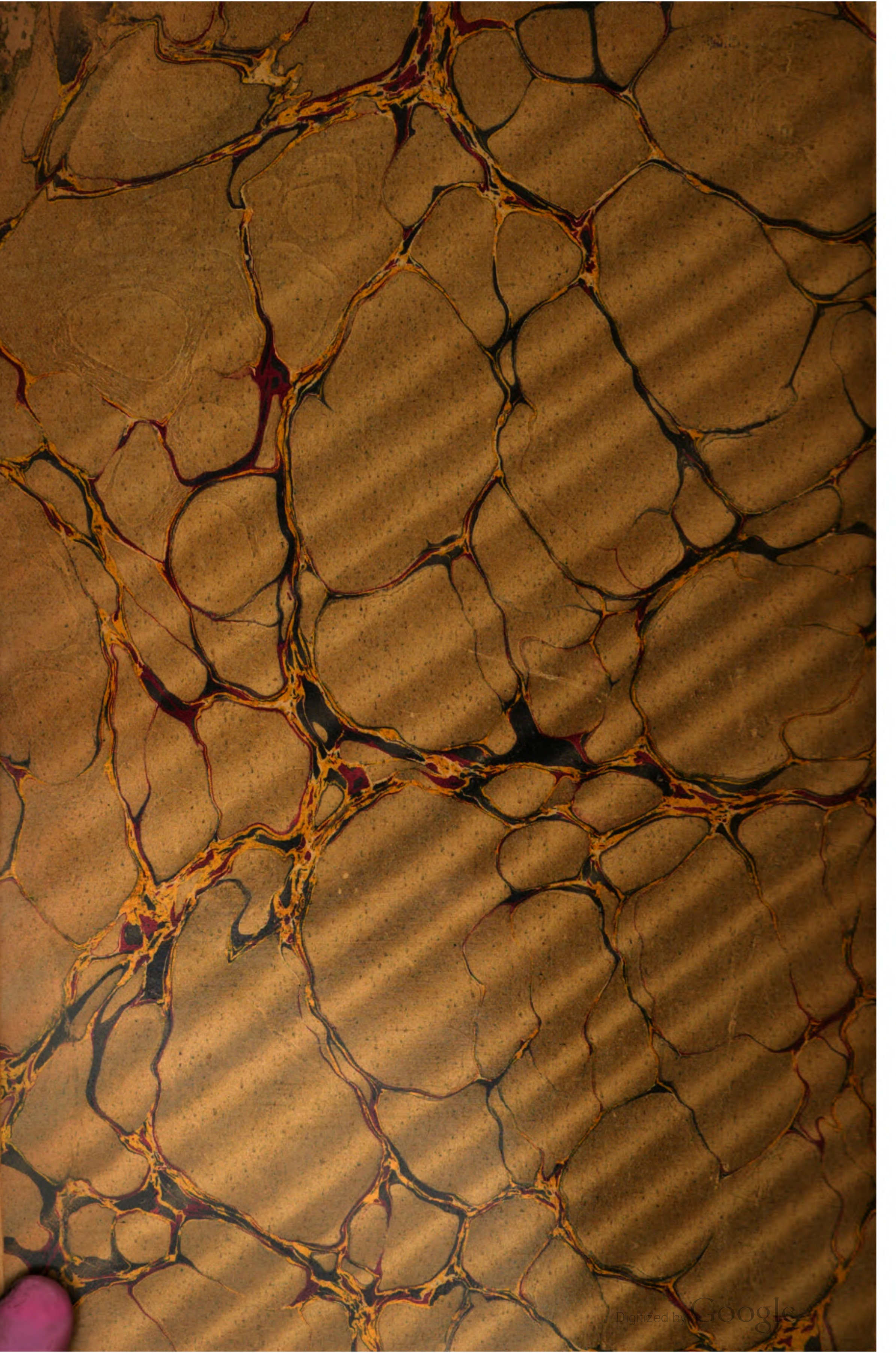
PREMIÈRE PARTIE

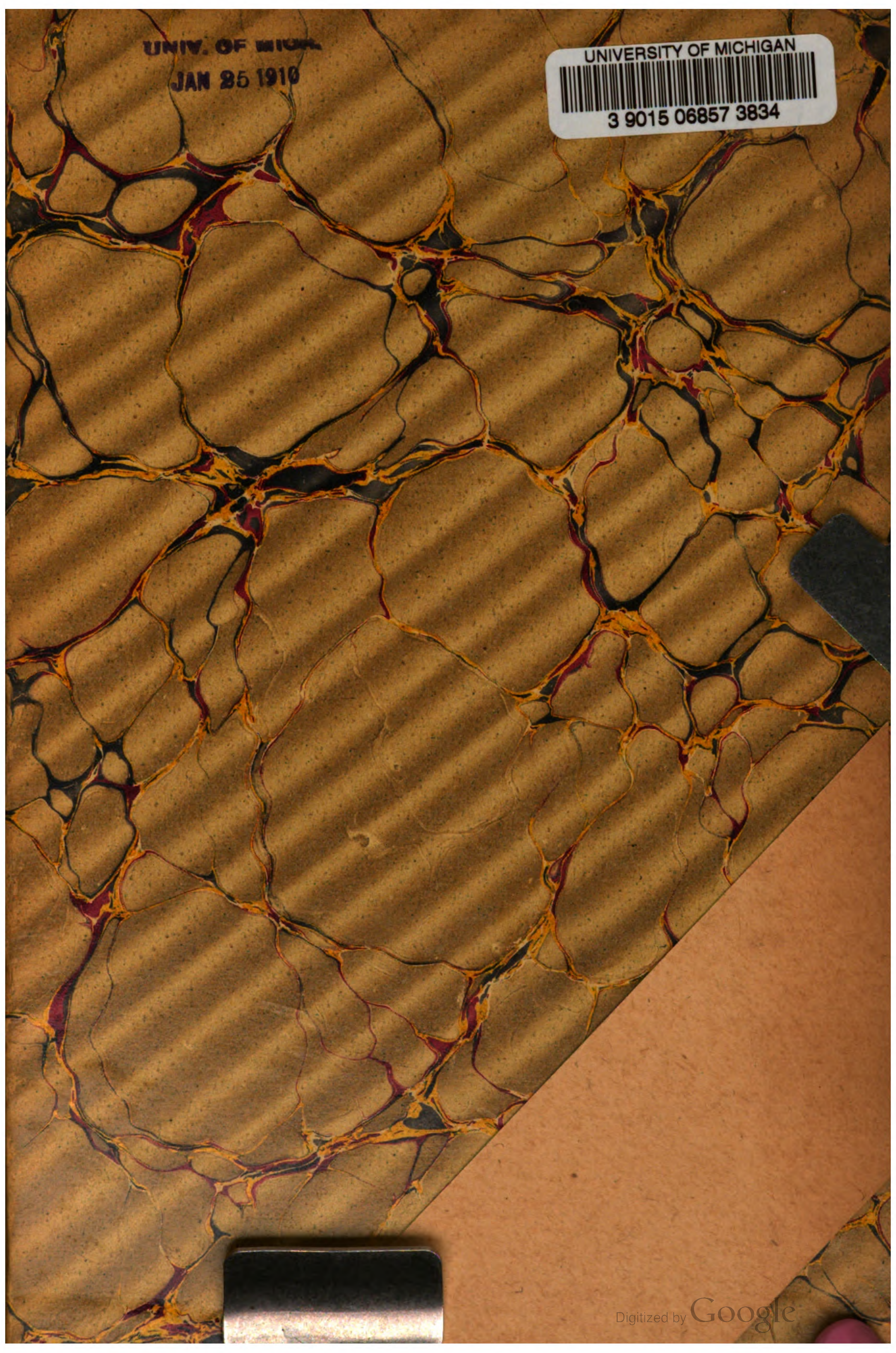
Estimations forestières

DEUXIÈME PARTIE

Expertises forestières

Poitiers. — Imprimerie BLAIS et ROY, 7, rue Victor-Hugo.




UNIV. OF MICH.
JAN 25 1910
UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06857 3834
Digitized by Google

